

ANALYSE PHYSIKALISCHER BESCHREIBUNGEN ALS ELEMENT VON NATURWISSENSCHAFTLICHER ERKENNTNISGEWINNUNG

-

AM BEISPIEL OPTISCHER PHÄNOMENE AUS LEBENSWELTLICHEN UND
SCHULISCHEN KONTEXTEN

von

Katharina Gierl

Angenommene Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der
Naturwissenschaften

Fachbereich NUW: Natur- und Umweltwissenschaften

Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau

Tag der Disputation 16.05.2024

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Alexander Kauertz
2. Berichterstatterin: Prof. Dr. Sandra Nitz

DANKSAGUNG

Mit dem Abschluss dieser Doktorarbeit möchte ich die Gelegenheit nutzen, um meinen tiefsten Dank auszudrücken. Zunächst gebührt mein Dank meinen Betreuer:innen Alexander Kauertz, Sandra Nitz, Patrick Löffler, Eva Cauet und Jochen Scheid, deren Expertise, Geduld und Weitsicht mich durch diese herausfordernde Reise geleitet haben. Eure Unterstützung war für mich sehr wertvoll.

Ein besonderes Dankeschön geht an meine Kolleginnen Vanessa Seremet und Romina Posch. Ihr wart mehr als nur Kolleginnen; ihr wart Weggefährtinnen, die mir immer zur Seite standen, mich unterstützten und mir in den nötigen Momenten ein Lächeln ins Gesicht zauberten. Eure Freundschaft und der Zusammenhalt haben die Höhen und Tiefen dieses Weges umso lohnenswerter gemacht.

Ganz besonders möchte ich Michelle Welter hervorheben, deren Arbeit als wissenschaftliche Hilfskraft von unschätzbarem Wert war. Michelle, dein Fleiß, deine Gewissenhaftigkeit und Zuverlässigkeit, gepaart mit deinem steten Mitdenken, haben einen wesentlichen Beitrag zum Gelingen dieser Arbeit geleistet.

Nicht zuletzt möchte ich den Kolleg:innen des Instituts danken, die immer mit wertvollen Ratschlägen und konstruktiver Kritik zur Seite standen. Eure Unterstützung und Kollegialität haben nicht nur meine Arbeit bereichert, sondern auch meine persönliche und fachliche Entwicklung gefördert.

Allen genannten und ungenannten Wegbegleitern dieser Doktorarbeit gilt mein aufrichtiger Dank. Ihr habt alle auf unterschiedliche Weise zu diesem Werk beigetragen und es mit eurer Unterstützung, eurem Rat und eurer Kritik bereichert.

ZUSAMMENFASSUNG

Das theoriebasierte Beschreiben von Phänomenen ist Ausgangspunkt naturwissenschaftlicher Erkenntnis- und den damit verbundenen Modellierungsprozesse (Krüger et al., 2018). Lernende müssen relevante Eigenschaften und Zusammenhänge identifizieren, anhand des konzeptionellen Wissens interpretieren und in eine kohärente Struktur überführen. Dazu benötigen die Lernenden Fähigkeiten der *deklarativen Modellkompetenz* (Digel, 2018), die das Wissen domänenspezifischer Modelle (z. B. Wellenmodelle) umfasst. Inwieweit die Eigenschaften und Zusammenhänge bereits in der Darstellung des Phänomens erkennbar sind (*Transparenz*), haben einen Einfluss auf die Modellierung (Löffler, 2016).

In der vorliegenden Forschungsarbeit wurde ein Analyseverfahren für naturwissenschaftliche Beschreibungen entwickelt. Hierzu wurden relevante Beschreibungsmerkmale für erfolgreiche Erkenntnis- und Problemlöseprozesse literaturbasiert identifiziert und in ein theoretisches Modell überführt. Das Modell definiert das Anfertigen einer naturwissenschaftlichen Beschreibung als sachgerechte Kommunikation innerhalb einer naturwissenschaftlichen Sprachgemeinschaft. Demnach kann eine Beschreibung anhand des *theoretischen Bezugs*, der *Komplexität* (Anzahl genannter Zusammenhänge), der *Spezifität* und der *Linearisierung* (Ordnung der Informationen) charakterisiert werden.

Basierend auf der qualitativ strukturierenden Inhaltsanalyse nach Mayring (2022) wurden Beschreibungen von N = 28 Physiklehramtsstudierenden hinsichtlich der Beschreibungsmerkmale analysiert und quantifiziert. Die Analysen bezogen sich auf zwölf optische Phänomene, die sich in ihrer *Komplexität* (Kauertz, 2008) und *Transparenz* (u. a. durch Sichtbarkeit des Lichtwegs) unterschieden. Zusätzlich wurde die *deklarative Modellkompetenz* der Studierenden mit einem Paper-Pencil-Test erfasst (DekMo-O: Digel (2018)), um Zusammenhänge zwischen Personen-, Aufgaben- und Beschreibungsmerkmalen zu untersuchen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Beschreibungen der Studierenden zwar einen hohen *theoretischen Bezug* aufweisen, sich jedoch in der Anzahl *modellspezifischer Zusammenhänge* unterscheiden. Studierende mit einer hohen *deklarativen Modellkompetenz* formulieren mehr *modellspezifische Zusammenhänge*. Dies deckt sich mit Befunden anderer Studien, in denen beobachtet werden konnte, dass Lernende vorwiegend auf einer Oberflächenstruktur beschreiben, wohingegen Expert:innen auf einer Tiefenstruktur beschreiben (Heller & Reif, 1984; Larkin et al., 1980). Ferner deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die *Transparenz* einen positiven Einfluss auf die Formulierung *modellspezifischer Zusammenhänge* hat.

INHALTSVERZEICHNIS

DANKSAGUNG	II
ZUSAMMENFASSUNG	IV
INHALTSVERZEICHNIS	VI
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	X
TABELLENVERZEICHNIS	XIV
1 EINLEITUNG	1
TEIL I THEORETISCHER HINTERGRUND	3
2 NATURWISSENSCHAFTLICHE GRUNDBILDUNG	3
2.1 BILDUNGSSTANDARDS	4
3 NATURWISSENSCHAFTLICHE ERKENNTNISGEWINNUNG	7
3.1 KOMPETENZTEILBEREICH NATURWISSENSCHAFTLICHE UNTERSUCHUNGEN	8
3.2 KOMPETENZTEILBEREICH MODELLBILDUNG	13
3.3 ZUSAMMENFASSUNG KAPITEL 3	33
4 NATURWISSENSCHAFTLICHES BESCHREIBEN	34
4.1 BEGRIFFLICHE ABGRENZUNG	34
4.2 BESCHREIBEN ALS KOMMUNIKATIONSPROZESS	36
4.3 PHYSIKALISCHE KOMMUNIKATIONSKOMPETENZ	38
4.4 NATURWISSENSCHAFTLICHE BESCHREIBUNG ALS KOMMUNIKATION	42
4.5 MERKMALE NATURWISSENSCHAFTLICHER BESCHREIBUNGEN	43
4.6 FÄHIGKEITEN NATURWISSENSCHAFTLICHEN BESCHREIBENS	44
4.7 SCHWIERIGKEITSERZEUGENDE MERKMALE EINER BESCHREIBUNGSSITUATION	45
5 ZUSAMMENFASSUNG: MODELL DES NATURWISSENSCHAFTLICHEN BESCHREIBENS	46
TEIL II EMPIRISCHER TEIL	48
6 FORSCHUNGSMETHODE UND DESIGN	50
6.1 MESSMODELL NATURWISSENSCHAFTLICHER BESCHREIBUNGEN	50
6.2 AUSWAHL DER STICHPROBE	52
6.3 FORSCHUNGSDESIGN	53
6.4 GÜTEKRITERIEN	55
7 AUFGABENENTWICKLUNG	56
7.1 AUSWAHL DER PHÄNOMENE	57
7.2 FACHLICHER HINTERGRUND OPTISCHER PHÄNOMENE	58
7.3 BESTIMMUNG DER KOMPLEXITÄT	63

7.4	BESTIMMUNG TRANSPARENZ	66
7.5	AUSWAHL DER OPTISCHEN PHÄNOMENE	66
8	ANALYSEVERFAHREN	71
8.1	METHODISCHES VORGEHEN	72
8.2	SCHRITT 1: ENTWICKLUNG EINES KATEGORIENSYSTEMS MIT EINER LISTE VON KERNAUSSAGEN ...	73
8.3	SCHRITT 2: IDENTIFIZIEREN DER KERNAUSSAGEN INNERHALB EINER BESCHREIBUNG	76
8.4	SCHRITT 3: RATING DER BESCHREIBUNGSMERKMALE	77
8.5	INTER-RATER-RELIABILITÄT	86
9	DURCHFÜHRUNG.....	91
9.1	AUFBEREITUNG DER DATEN.....	92
9.2	STICHPROBE.....	93
10	INSTRUMENTE.....	95
10.1	FRAGEBOGEN DEKLARATIVE MODELLKOMPETENZ	95
10.2	RELIABILITÄT FRAGEBOGEN DEKLARATIVE MODELLKOMPETENZ	97
10.3	ALLGEMEINER FRAGEBOGEN	98
11	VORGEHEN DER DATENANALYSE	99
11.1	UNTERSUCHUNGSVARIABLEN DER STUDIE	101
11.2	STICHPROBENBESCHREIBUNG	103
12	ANALYSEFOKUS 1: ZUSAMMENHANG EXPERTISE UND MERKMALE EINER BESCHREIBUNG.....	107
12.1	DESKRIPTIVE STATISTIK: DEKLARATIVE MODELLKOMPETENZ KOMPLEXITÄT, ANZAHL DER KERNAUSSAGEN UND LINEARISIERUNG.....	107
12.2	GRUPPENVERGLEICH ‚HOHE‘ UND ‚NIEDRIGE‘ DEKLARATIVE MODELLKOMPETENZ	115
12.3	KORRELATIONSANALYSEN DEKLARATIVE MODELLKOMPETENZ, KERNAUSSAGEN UND ZUSAMMENHÄNGE.....	118
12.4	DESKRIPTIVE STATISTIK: DEKLARATIVE MODELLKOMPETENZ, THEORETISCHER BEZUG UND SPEZIFITÄT	121
12.5	KORRELATIONSANALYSEN DEKLARATIVE MODELLKOMPETENZ, THEORETISCHER BEZUG UND SPEZIFITÄT	128
12.6	GRUPPENVERGLEICH BESUCH DER OPTIKVORLESUNG UND MERKMALE VON BESCHREIBUNGEN .	131
12.7	ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE ANALYSEFOKUS I.....	133
13	ANALYSEFOKUS 2: ZUSAMMENHANG AUFGABENMERKMALE UND BESCHREIBUNGSMERKMALE	135
13.1	VORGEHEN DER DATENANALYSE.....	136
13.2	UNTERSUCHUNGSVARIABLEN ANALYSEFOKUS II	137
13.3	DESKRIPTIVE STATISTIK DER AUFGABENKENNWERTE	139
14	ZUSAMMENFASSUNG UND DISKUSSION DER ERGEBNISSE	155

14.1	ZUSAMMENFASSUNG UND INTERPRETATION DER HAUPTERGEBNISSE	155
14.2	GÜTEKRITERIEN	158
14.3	LIMITATIONEN DER STUDIE & ANKNÜPFUNGSPUNKTE ZUKÜNFTIGER FORSCHUNG	160
14.4	SCHLUSSFOLGERUNGEN & ERTRAG DER ARBEIT	162
15	AUSBLICK	163
16	LITERATURVERZEICHNIS	167
17	LEBENS LAUF	173
18	ANHANG	175
19	EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG	177
20	NUTZUNG VON GENERATIVEN MODELLEN	178

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

ABBILDUNG 1 KOMBINIERTE ABBILDUNG AUS (GRUBE, 2011, S. 21), VERÄNDERT	12
ABBILDUNG 2 ZUSAMMENHANG MENTALES, PHYSIKALISCHES UND MATHEMATISCHES MODEL BEI VERSTEHENSPROZESSEN PHYSIKALISCHER PHÄNOMENE, AUS DEM ENGLISCHEN ÜBERSETZT AUS (GRECA & MOREIRA, 2002, S. 111).....	15
ABBILDUNG 3 VISUALISIERUNG VON MODELLEN ZU VERSCHIEDENEN AUSGEWÄHLTEN ZWECKEN AUS (WAGNER, 2017, S. 31); VERÄNDERT	18
ABBILDUNG 4 PHYSIKALISCHER MODELLIERUNGSKREISLAUF AUS (TRUMP, 2015, S. 49)	21
ABBILDUNG 5 PROBLEMLÖSEPROZESS NACH HELLER UND REIF (1984) AUS BRANDENBURGER (2016)- CC BY- NC-ND 4.0.....	25
ABBILDUNG 6 PROZESSSCHEMA NATURWISSENSCHAFTLICHER ERKENNTNISGEWINNUNG DURCH MODELLIEREN NACH KRELL ET AL. (2016) AUS KRÜGER ET AL. (2018, S. 146).....	29
ABBILDUNG 7 KOMPETENZSTRUKTUR PHYSIKALISCHER MODELLIERUNGSKOMPETENZ AUS DIGEL (2018, S. 99)	30
ABBILDUNG 8 KONSTRUKTIVISTISCHE KOMMUNIKATIONSMODELL (KULGEMEYER, 2010, S. 62).....	38
ABBILDUNG 9 MODELL DER PHYSIKALISCHEN KOMMUNIKATIONS-KOMPETENZ (KULGEMEYER, 2010, S. 81) ..	40
ABBILDUNG 10 THEORETISCHES MODELL DES NATURWISSENSCHAFTLICHEN BESCHREIBENS	46
ABBILDUNG 11 MESSMODELL NATURWISSENSCHAFTLICHES BESCHREIBEN	50
ABBILDUNG 12 FORSCHUNGSDESIGN	54
ABBILDUNG 13 DISKURSRAHMEN BESCHREIBUNGS-AUFGABEN (EIGENE DARSTELLUNG).....	56
ABBILDUNG 14 ELEKTROMAGNETISCHE WELLE. (QUELLE: SCHWUNKEL/WIKIMEDIA COMMONS, CC BY-SA 4.0)	58
ABBILDUNG 15 PHASENVERSCHIEBUNG EINER WELLE (QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG).....	61
ABBILDUNG 16 TOTALREFLEXION (EIGENE ABBILDUNG).....	67
ABBILDUNG 17 DISPERSIVE PRISM ILLUSTRATION (QUELLE: SPIGGET/ WIKIMEDIA COMMONS, CC BY-SA 3.0)	67
ABBILDUNG 18 TOTALREFLEXION LASER (EIGENE ABBILDUNG)	68
ABBILDUNG 19 STREUUNG AN DISPERSIONSEMLUSION (EIGENE ABBILDUNG)	68
ABBILDUNG 20 VIRTUELLES BILD EINER MÜNZE (EIGENE ABBILDUNG).....	68
ABBILDUNG 21 DIESELRAINBOW (QUELLE: JOHN/WIKIPEDIA COMMONS, CC BY-SA 2.5)	69
ABBILDUNG 22 TOTALREFLEXION (FOTO: BERND NIES/ NIES.CH, CC BY 4.0) (NIES, 2013).....	69
ABBILDUNG 23 INTERFERENZ AN EINE CD (EIGENE ABBILDUNG).....	69
ABBILDUNG 24 MIRRAGE OVER A HOT ROAD (YURI KHRISTICH/ WIKIMEDIA COMMONS, CC0 1.0)	70
ABBILDUNG 25 GLIEDERUNG DER LISTE DER KERNAUSSAGEN	76
ABBILDUNG 26 SKIZZE STRAHLENGANG NACH SOKOLOFF (2006); VERÄNDERT	95
ABBILDUNG 27 BOXPLOT VERTEILUNG DEKLARATIVE MODELLKOMPETENZ IN PROZENT (N=28)	107
ABBILDUNG 28 TRENDBEREINIGTES Q-Q-DIAGRAMM VON DER DEKLARATIVEN MODELLKOMPETENZ.....	108
ABBILDUNG 29 BOXPLOTS MITTLERE ANZAHL DER KERNAUSSAGEN, FAKTEN UND ZUSAMMENHÄNGE (N=28)	109
ABBILDUNG 30 TRENDBEREINIGTES Q-Q DIAGRAMM MITTLERE ANZAHL FAKTEN.....	111
ABBILDUNG 31 TRENDBEREINIGTES Q-Q DIAGRAMM MITTLERE ANZAHL VON ZUSAMMENHÄNGEN	112

ABBILDUNG 32 TRENDBEREINIGTE Q-Q-DIAGRAMME DER MITTLEREN ANZAHL VON FAKTEN. ZUSAMMENHÄNGEN UND KERNAUSSAGEN.....	112
ABBILDUNG 33 VERTEILUNG DER KERNAUSSAGEN ÜBER WECHSELWIRKUNG ZWISCHEN LICHT UND MATERIE	113
ABBILDUNG 34 VERTEILUNG DER MITTLEREN ANZAHL AN FAKTEN JE GRUPPE (DEKLARATIVE MODELLKOMPETENZ (NIEDRIG-HOCH).....	115
ABBILDUNG 35 VERTEILUNG DER MITTLEREN ANZAHL AN ZUSAMMENHÄNGEN JE GRUPPE DEKLARATIVE MODELLKOMPETENZ (NIEDRIG-HOCH).....	116
ABBILDUNG 36 VERTEILUNG DER MITTLEREN ANZAHL AN KERNAUSSAGEN JE GRUPPE DEKLARATIVE MODELLKOMPETENZ (NIEDRIG-HOCH).....	116
ABBILDUNG 37 VERTEILUNG DER RELATIVEN HÄUFIGKEIT DER LINEARISIERUNG NACH WECHSELWIRKUNGEN ZWISCHEN LICHT UND MATERIE JE GRUPPE MIT DEKLARATIVER MODELLKOMPETENZ (NIEDRIG-HOCH)	117
ABBILDUNG 38 STREUDIAGRAMM DEKLARATIVE MODELLKOMPETENZ UND MITTLERE ANZAHL VON KERNAUSSAGEN.....	118
ABBILDUNG 39 STREUDIAGRAMM DEKLARATIVE MODELLKOMPETENZ UND LINEARISIERUNG	119
ABBILDUNG 40 STREUDIAGRAMM DEKLARATIVE MODELLKOMPETENZ UND MITTLERE ANZAHL VON ZUSAMMENHÄNGEN	119
ABBILDUNG 41 VERTEILUNG DER AUSSAGEN HINSICHTLICH DER MERKMALE THEORETISCHER BEZUG UND SPEZIFITÄT	122
ABBILDUNG 42 VERTEILUNG DER RELATIVEN HÄUFIGKEITEN VON AUSSAGEN HINSICHTLICH DES THEORETISCHEN BEZUGS UND DER SPEZIFITÄT	123
ABBILDUNG 43 VERTEILUNG MODELLSPEZIFISCHER UND UNSPEZIFISCHER AUSSAGEN HINSICHTLICH DER MODEL- UND SITUATIONSEBENE	124
ABBILDUNG 44 VERTEILUNG MITTLERE ANZAHL AN MODELLSPEZIFISCHEN UND UNSPEZIFISCHEN ZUSAMMENHÄNGEN	125
ABBILDUNG 45 VERTEILUNG RELATIVER HÄUFIGKEITEN MODELLSPEZIFISCHER -UND UNSPEZIFISCHER ZUSAMMENHÄNGE	126
ABBILDUNG 46 GEGENÜBERSTELLUNG STREUDIAGRAMME DEKLARATIVE MODELLKOMPETENZ IN ABHÄNGIGKEIT DER MITTLEREN ANZAHL VON ZUSAMMENHÄNGEN UND RELATIVE HÄUFIGKEIT MODELLSPEZIFISCHER ZUSAMMENHÄNGE	130
ABBILDUNG 47 BOXPLOTS DEKLARATIVE MODELLKOMPETENZ UND OPTIKVORLESUNG BESUCHT	132
ABBILDUNG 48 BOXPLOTS DEKLARATIVE MODELLKOMPETENZ UND OPTIKVORLESUNG BESUCHT	132
ABBILDUNG 49 MITTLERE ANZAHL DER KERNAUSSAGEN JE AUFGABE IN ABHÄNGIGKEIT DER DEKLARATIVEN MODELLKOMPETENZ.....	140
ABBILDUNG 50 MITTLERE ANZAHL AN ZUSAMMENHÄNGE JE AUFGABE IN ABHÄNGIGKEIT DER DEKLARATIVEN MODELLKOMPETENZ.....	144
ABBILDUNG 51 VERTEILUNG DER MITTELWERTE LINEARISIERUNG JE AUFGABE IN ABHÄNGIGKEIT DER DEKLARATIVEN MODELLKOMPETENZ	148
ABBILDUNG 52 VERTEILUNG RELATIVE HÄUFIGKEIT MODELLSPEZIFISCHER AUSSAGEN AUF AUFGABENEBENE	151
ABBILDUNG 53 VERTEILUNG RELATIVE HÄUFIGKEIT MODELLSPEZIFISCHER ZUSAMMENHÄNGE JE AUFGABE	154

ABBILDUNG 54 BEISPIELAUFGABE DEKMO-O (DIGEL, 2018).....	156
ABBILDUNG 55 FALLPROFIL ZU DEN MERKMALEN THEORETISCHER BEZUG UND SPEZIFITÄT	163
ABBILDUNG 56 AUFGABENBASIERTE VERHÄLTNISSE SPEZIFISCHER UND UNSPEZIFISCHER AUSSAGEN AUF MODELL- UND SITUATIONSEBENE DES FALLS AF31A.....	164
ABBILDUNG 57 AUFGABENBASIERTE VERHÄLTNISSE LINEARISIERUNG GEMÄß DEN WECHSELWIRKUNGEN DES LICHTS UND MATERIE DES FALLS AF31A.....	165

TABELLENVERZEICHNIS

TABELLE 1 KOMPETENZBEREICHE BIOLOGIE, CHEMIE, PHYSIK DER BILDUNGSSTANDARDS FÜR DEN MITTLEREN SCHULABSCHLUSS (KMK, 2005A, 2005B, 2005C)	4
TABELLE 2 AUSSCHNITT KOMPETENZSTRUKTUR NATURWISSENSCHAFTLICHER ERKENNTNISMETHODEN AUS WELLNITZ & MAYER, 2013, S. 326	8
TABELLE 3 EMPIRISCHES MODELL ZUR BEOBACHTUNGSKOMPETENZ AUS (KOHLHAUF ET AL., 2011A, S. 219) ..	9
TABELLE 4 MERKMALE EINER NATURWISSENSCHAFTLICHEN BESCHREIBUNG	43
TABELLE 5 GEGENÜBERSTELLUNG FÄHIGKEITEN NATURWISSENSCHAFTLICHEN BESCHREIBENS UND MODELLIERKOMPETENZ	44
TABELLE 6 OPERATIONALISIERUNG BESCHREIBUNGSMERKMALE UND BEOBACHTBARE KENNWERTE EINE BESCHREIBUNG	47
TABELLE 7 GÜTEKRITERIEN DER STUDIE (HARTIG ET AL., 2012; MAYRING, 2022; TRUMP, 2015)	55
TABELLE 8 EIGENSCHAFTEN VON LICHT (VGL. TIPLER & MOSCA, 2007)	60
TABELLE 9 OPTISCHE EIGENSCHAFTEN VON MATERIE (VGL. TIPLER & MOSCA, 2007)	61
TABELLE 10 WECHSELWIRKUNG VON LICHT MIT MATERIE (VGL. TIPLER & MOSCA, 2007)	62
TABELLE 11 SCHEMA WECHSELWIRKUNG ZUR BESTIMMUNG KOMPLEXITÄT	64
TABELLE 12 ANZAHL DER AUFGABEN KOMPLEXITÄT VS. TRANSPARENZ	66
TABELLE 13 ÜBERSICHT DER BESCHREIBUNGSSITUATIONEN UND MERKMALE	67
TABELLE 14 ANALYSEEBENEN EINER BESCHREIBUNG	72
TABELLE 15 BEISPIELE VERALLGEMEINERUNG VON BEGRIFFEN	74
TABELLE 16 BEISPIEL FAKT	77
TABELLE 17 BEISPIEL KAUSALER ZUSAMMENHANG	78
TABELLE 18 BEISPIEL THEORETISCHER BEZUG	80
TABELLE 19 OPERATIONALISIERUNG SPEZIFITÄT	82
TABELLE 20 OPERATIONALISIERUNG DER LINEARISIERUNG	84
TABELLE 21 VIERFELDERTAFEL ZUR BESTIMMUNG VON BRENNAN & PREDIGERS KAPPA	86
TABELLE 22 BEURTEILERÜBEREINSTIMMUNG KERNAUSSAGEN	87
TABELLE 23 BEURTEILERÜBEREINSTIMMUNG KOMPLEXITÄT	87
TABELLE 24 PROZENTUALE ÜBEREINSTIMMUNG DER SUBKATEGORIEN VON KOMPLEXITÄT	88
TABELLE 25 BEURTEILERÜBEREINSTIMMUNG THEORETISCHER BEZUG & SPEZIFITÄT	88
TABELLE 26 PROZENTUALE ÜBEREINSTIMMUNG THEORETISCHER BEZUG & SPEZIFITÄT	89
TABELLE 27 STICHPROBENGROÖßE JE ERHEBUNGSZEITPUNKT EZ	93
TABELLE 28 BEISPIEL ITEMS DES FRAGEBOGENS	95
TABELLE 29 ITEM-STATISTIK DER DEKLARATIVEN MODELLKOMPETENZ	98
TABELLE 30 ÜBERSICHT DER KENNGRÖßEN DER UNTERSUCHUNGSVARIABLEN EINER BESCHREIBUNG PRO PERSON	101
TABELLE 31 ÜBERSICHT DER AGGREGIERTEN KENNGRÖßEN THEORETISCHER BEZUG UND SPEZIFITÄT EINER BESCHREIBUNG PRO PERSON	102
TABELLE 32 ALTER, FACHSEMESTER, DEKMO DER TEILSTICHPROBE DEKMO	103
TABELLE 33 GESCHLECHT, HAUPTFACH, PHYSIK IN DER OBERSTUFE, VORBILDUNG, OPTIKVORLESUNG BESUCHT DER TEILSTICHPROBE DEKMO	103

TABELLE 34 ALTER, FACHSEMESTER, DEKMo DER TEILSTICHPROBE THEORETISCHER BEZUG UND SPEZIFITÄT	104
TABELLE 35 GESCHLECHT, HAUPTFACH, PHYSIK IN DER OBERSTUFE, VORBILDUNG, OPTIKVORLESUNG BESUCHT DER TEILSTICHPROBE SPEZIFITÄT UND DEKMo	104
TABELLE 36 DURCHSCHNITTLICHE BEARBEITUNGSDAUER IN MINUTEN DER BEIDEN ERHEBUNGSFORMATE, DIGITAL UND PRÄSENZ	105
TABELLE 37 DESKRIPTIVE STATISTIK MITTLERE ANZAHL DER KERNAUSSAGEN, FAKTEN UND ZUSAMMENHÄNGE	110
TABELLE 38 DESKRIPTIVE STATISTIK RELATIVE HÄUFIGKEIT KERNAUSSAGEN ÜBER WECHSELWIRKUNGEN ZWISCHEN LICHT UND MATERIE	114
TABELLE 39 AUSWAHL DER TEILSTICHPROBE (N=15) DEKLARATIVE MODELLKOMPETENZ UND MITTLERE ANZAHL AN ZUSAMMENHÄNGEN. DER BLAUE BEREICH BESCHREIBT DATENPUNKTE, DIE ÜBER DER AUSGLEICHSGERADEN LIEGEN, DER GRÜNE BEREICH DIE NAHE ODER AUF DER AUSGLEICHSGERADEN LIEGEN UND DER ORANGEFARBENE BEREICH DATEN, DIE UNTERHALB DER AUSGLEICHSGERADEN LIEGEN	121
TABELLE 40 SPEARMAN KORRELATION DEKLARATIVE MODELLKOMPETENZ, THEORETISCHER BEZUG UND SPEZIFITÄT	129
TABELLE 41 ANZAHL DER AUFGABEN KOMPLEXITÄT VS. TRANSPARENZ.....	136
TABELLE 42 AUFGABENSTATISTIK MITTLERE ANZAHL AN KERNAUSSAGEN HK= HOCH KOMPLEX, NK= NIEDRIG KOMPLEX, HT= HOCH TRANSPARENT, NT=NIEDRIG TRANSPARENT, WM=WELLENMODELL, SM= STRAHLENMODELL	139
TABELLE 43 AUFGABENSTATISTIK ANZAHL AN ZUSAMMENHÄNGEN HK= HOCHKOMPLEX, NK= NIEDRIG KOMPLEX, HT= HOCHTRANSPARENT, NT=NIEDRIG TRANSPARENT, WM= WELLENMODELL, SM=STRAHLENMODELL	143
TABELLE 44 AUFGABENSTATISTIK RELATIVE HÄUFIGKEIT AUSSAGEN WECHSELWIRKUNG LICHT UND MATERIE HK= HOCHKOMPLEX, NK= NIEDRIG KOMPLEX, HT= HOCHTRANSPARENT, NT=NIEDRIG TRANSPARENT, WM= WELLENMODELL, SM= STRAHLENMODELL.....	147
TABELLE 45 AUFGABENSTATISTIK MODELLSPEZIFISCHE AUSSAGEN HK= HOCHKOMPLEX, NK= NIEDRIG KOMPLEX, HT= HOCHTRANSPARENT, NT=NIEDRIG TRANSPARENT, WM=WELLENMODELL, SM=STRAHLENMODELL	150
TABELLE 46 AUFGABENSTATISTIK RELATIVE HÄUFIGKEIT MODELLSPEZIFISCHE ZUSAMMENHÄNGE HK= HOCHKOMPLEX, NK= NIEDRIG KOMPLEX, HT= HOCHTRANSPARENT, NT=NIEDRIG TRANSPARENT	153

1 EINLEITUNG

„Naturwissenschaftliche Grundbildung ist die Fähigkeit, naturwissenschaftliches Wissen anzuwenden, naturwissenschaftliche Fragen zu erkennen und aus Belegen Schlussfolgerungen zu ziehen, um Entscheidungen zu verstehen und zu treffen, die die natürliche Welt und die durch menschliches Handeln an ihr vorgenommenen Veränderungen betreffen.“ (Baumert et al., 1999)

Eine naturwissenschaftliche Grundbildung ermöglicht eine bestimmte Art der Weltbegegnung – die Welt durch die ‘Brille’ der Naturwissenschaften wahrzunehmen (Baumert, 2001). Diese Art der Wahrnehmung nutzt naturwissenschaftliche Theorien und Konzepte, um die inneren Eigenschaften und Zusammenhänge von Phänomenen¹ zu beschreiben. Eine theoriegeleitete Beschreibung durch die Nutzung von Modellen ermöglicht Frage- und Problemstellungen zu entdecken und Hypothesen zu formulieren, die mit Methoden der Erkenntnisgewinnung überprüft werden können (Krüger et al., 2018).

Untersuchungen zu Problemlöseprozessen zeigen, dass Lernenden meist eine qualitative Problembeschreibung überspringen und versuchen, das Problem direkt mit mathematischen Prozeduren zu lösen, indem sie passende Gleichungen zu den in der Aufgabenstellung genannten Größen suchen (Docktor et al., 2009; Larkin et al., 1980). Larkin et al. (1980) stellen fest, dass Studierende Probleme vorwiegend auf einer Sichtebeine beschreiben, wohingegen Expert:innen bei der Problembeschreibung Modelle und Konzepte nutzen. Untersuchungen zeigen, dass die Nutzung von Modellen und Konzepten bei der Problembeschreibung einen positiven Einfluss auf den Erfolg im Problemlöseprozess (Löffler, 2016) sowie auf die Problemlösefähigkeiten und konzeptionelle Wissen der Lernenden (Docktor et al., 2015) haben.

Obwohl das naturwissenschaftliche Beschreiben der Ausgangspunkt von Erkenntnisprozessen ist, gibt es nur begrenzte prozessbezogene Untersuchungen, die den Prozessschritt der Problembeschreibung explizieren. Bestehende Kompetenzmodelle der Erkenntnisgewinnung adressieren mehrheitlich drei Prozessschritte: Fragestellungen und Hypothesen formulieren, Untersuchung planen und durchführen, Daten analysieren und Schlussfolgerungen ziehen (vgl. Vorholzer et al., 2016). Die Wahrnehmung und Beschreibung des Phänomens wird in diesen Untersuchungen nicht berücksichtigt, obwohl sie die Grundlage zur Hypothesenbildung darstellen. Um Hypothesen formulieren zu können, müssen zunächst Eigenschaften und

¹ Terminologie: Umfasst Erscheinungen, die in unterschiedlicher Form vorliegen können (Daten, Problemstellung, Experiment, Naturerscheinungen), die dem Bewusstsein zur Gewinnung von Erkenntnissen zugänglich ist.

Zusammenhänge des zu untersuchenden Phänomens identifiziert werden. Bekannte Defizite von Lernenden beim Aufstellen von Hypothesen (Grube, 2011, S. 5–6) können nicht ausschließlich auf die Fähigkeit selbst zurückgeführt werden, sondern könnten bereits bei der fehlenden oder inadäquaten theoretischen Beschreibung des zu untersuchenden Phänomens ihren Ursprung haben.

Krüger et al. (2018, S. 152) betonen den Bedarf an prozessbezogener Forschung, die den handelnden Umgang mit Modellen beim Problemlöseverhalten untersucht, um mögliche Implikationen für das Lehren und Erlernen solcher Fähigkeiten zu ermöglichen (Louca & Zacharia, 2012). Ein gezieltes Fördern von Fähigkeiten des naturwissenschaftlichen Beschreibens kann die Lernenden bei Erkenntnisprozessen unterstützen, denn verschiedene Studien zum Problemlösen können positive Effekte durch Hilfestellungen beim Erstellen qualitativer Problembeschreibungen auf die Leistungen im Problemlöseprozess und den Aufbau von konzeptionellem Wissen feststellen (Docktor et al., 2015, 2015; Heller & Reif, 1984; Larkin et al., 1980; Löffler, 2016).

Insgesamt verdeutlicht dies die Relevanz naturwissenschaftlicher Beschreibungen in Erkenntnisprozessen. Um naturwissenschaftliches Beschreiben gezielt fördern zu können, werden Operationalisierungen von naturwissenschaftlichen Beschreibungen und der Fähigkeiten zum Anfertigen solcher Beschreibungen benötigt.

Ziel dieser Arbeit ist es, ein Analyseverfahren zur Untersuchung naturwissenschaftlicher Beschreibungen zu entwickeln, das Beschreibungen verschiedener Lernender anhand von Merkmalen charakterisiert, die für erfolgreiche Erkenntnisprozesse bedeutsam sind. Hierzu werden Ziele, Merkmale und Qualitäten naturwissenschaftlicher Beschreibungen im Rahmen naturwissenschaftlicher Erkenntnisprozesse identifiziert (Kap. 2 und Kap. 3). Dabei wird das naturwissenschaftliche Beschreiben als Kommunikationsprozess modelliert (Kap. 4): bestehend aus dem Erschließen von Eigenschaften und Zusammenhänge durch die zielgerichtete und systematische Beobachtung des Phänomens und der *sachgerechten* und *adressatengerechten* Weitergabe durch die Formulierung einer Beschreibung. Eine Operationalisierung einer sachgerechten und adressatengerechte Kommunikation erfolgt durch die identifizierten Ziele, Merkmale und Qualitäten einer Beschreibung.

TEIL I THEORETISCHER HINTERGRUND

2 NATURWISSENSCHAFTLICHE GRUNDBILDUNG

Unsere Gesellschaft ist geprägt von einer naturwissenschaftlichen und technischen Weltsicht. Seitens der Bildungspolitik und der Fachdidaktiken besteht ein breiter Konsens darüber, dass eine naturwissenschaftliche Grundbildung (Scientific Literacy) erforderlich ist, um an gesellschaftlichen und individuellen Entscheidungsprozessen mit wissenschaftlichen oder technologisierten Inhalten teilhaben zu können (Fischler et al., 2018; KMK, 2005c, 2020; Labudde & Möller, 2012; Osborne, 2023). Die Bedeutung des Konzepts Scientific Literacy ist vielfältig, da sich die Anforderungen an eine naturwissenschaftliche Grundbildung seit seiner begrifflichen Etablierung in den 1950er-Jahren weiterentwickelt und an die gesellschaftlichen Bedürfnisse angepasst hat (Fischler et al., 2018, S. 19).

Osborne (2023) gibt einen umfassenden Überblick zu dem Begriff Scientific Literacy und dessen Bedeutung. Dabei werden zwei wesentliche Strömungen (*Visions*) des Bildungsdiskurses identifiziert, die auf den Forscher Robberts (2010) zurückgehen. *Vision I* bezieht sich auf eine naturwissenschaftliche Grundbildung von Menschen, die Teil der Naturwissenschaften sind (z. B. Wissenschaftler:innen). *Vision II* bezieht sich auf Menschen, die nicht Teil der Naturwissenschaften sind, jedoch die Fähigkeit besitzen sollen, an Entscheidungen mit naturwissenschaftlichem oder technischem Bezug teilhaben und künftigen Krisen und Problemen begegnen zu können (z. B. Bürger:innen als Teil einer Gesellschaft). Dies schließt auch ein Verständnis über die Natur der Naturwissenschaft (Nature of Science) mit ein. Das heißt, eine naturwissenschaftliche Grundbildung zielt einerseits darauf ab, naturwissenschaftlichen Nachwuchs auszubilden und andererseits Menschen außerhalb der Wissenschaften elementare naturwissenschaftliche Kompetenzen zu vermitteln (Glug, 2009).

Das Grundverständnis naturwissenschaftlicher Grundbildung, entsprechend *Vision II*, ist Teil des Bildungsauftrags der allgemeinbildenden Schulen und in nationalen (KMK, 2005c, 2020) und internationalen Bildungsstandards (z.B. NRC, 2012) verankert. Ferner dient sie als Grundlage der internationalen Vergleichsstudie *Programme for International Student Achievement* (PISA) zur Erfassung naturwissenschaftlicher Kompetenz in mehr als 80 Ländern (Schiepe-Tiska et al., 2019). Demnach umfasst eine naturwissenschaftliche Grundbildung das Wissen über wesentliche naturwissenschaftliche Konzepte, Denk- und Arbeitsweisen sowie die Fähigkeit, solches Wissen evidenzbasiert oder theoriegeleitet zu generieren, zu überprüfen und in unterschiedlichen lebensweltlichen Kontexten anzuwenden (OECD, 2017).

Diese Fähigkeiten bilden die Basis für selbstgesteuertes und lebenslanges Lernen im Bereich der Naturwissenschaften (Gräber, 2002; Nerdel, 2017a, S. 15).

2.1 BILDUNGSSTANDARDS

Die Bildungsstandards für die Fächer Biologie, Chemie und Physik vereinen den Grundgedanken der naturwissenschaftlichen Grundbildung (Scientific Literacy: Bybee, 1997) in einem normativen Kompetenzstrukturmodell zur Beschreibung naturwissenschaftlicher Kompetenz mit den Dimensionen: *Fachwissen*, *Erkenntnisgewinnung*, *Kommunikation* und *Bewertung* (Schecker & Parchmann, 2006).

Tabelle 1 Kompetenzbereiche Biologie, Chemie, Physik der Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss (KMK, 2005a, 2005b, 2005c)

Kompetenzbereiche	Beschreibung
Fachwissen	Naturwissenschaftliche Phänomene, Begriffe, Prinzipien, Fakten, Gesetzmäßigkeiten kennen und Basiskonzepten zuordnen
Erkenntnisgewinnung	Experimentelle und andere Untersuchungsmethoden (Beobachten, Vergleichen) sowie Modelle nutzen
Kommunikation	Informationen sach- und fachbezogen erschließen und austauschen
Bewertung	Naturwissenschaftliche Sachverhalte in verschiedenen Kontexten erkennen und bewerten.

Tabelle 1 enthält eine allgemeine Kompetenzbeschreibung der Fächer Biologie, Chemie und Physik für den mittleren Schulabschluss. Die allgemeinen Kompetenzerwartungen überschneiden sich für die drei Fächer, unterscheiden sich jedoch hinsichtlich domänenspezifischer Basiskonzepte und Untersuchungsmethoden. Die Bildungsstandards des Fachs Biologie führen das Beobachten und Vergleichen als Untersuchungsmethoden explizit auf, wohingegen die Standards der Fächer Chemie und Physik den Fokus auf das Experimentieren beschränkt. Das Experimentieren nimmt in allen drei Fächern eine zentrale Stellung der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung ein und kann als ein verbindendes Element der naturwissenschaftlichen Fächer aufgefasst werden (Nerdel, 2017b).

Das naturwissenschaftliche Beschreiben ist Teil der drei Kompetenzbereiche *Fachwissen*, *Erkenntnisgewinnung* und *Kommunikation* und wird in den Kompetenzerwartungen aller drei Fächer benannt. Dabei wird das Beschreiben von Phänomenen und das Zurückführen auf bekannte Zusammenhänge dem Kompetenzbereich der *Erkenntnisgewinnung* zugeordnet. (KMK, 2005c, S. 11). Wohingegen das Beschreiben von Eigenschaften, Wechselwirkungen, Zusammenhängen und zeitlichen Entwicklungen von Prozessen und Systemen Teil des Kompetenzbereichs *Fachwissen* ist (KMK, 2005a, 2005b, 2005c).

Die Unterscheidung zwischen einer alltagssprachlichen und fachsprachlichen Beschreibung von Phänomenen ist als ein Teil der *Kommunikationskompetenz* aufgeführt (ebd.). Die Fähigkeiten des Beschreibens werden jedoch in den Bildungsstandards nicht ausreichend operationalisiert.

Anhand der Bildungsstandards der allgemeinen Hochschulreife wird dagegen die Relevanz und Funktion naturwissenschaftlicher Beschreibungen deutlich. Denn hier wird das Beschreiben von Phänomenen als Teil naturwissenschaftlicher Kompetenz genannt (KMK, 2020, S. 10):

„Naturwissenschaftliche Kompetenz schließt das **systematische Erfassen, Beschreiben** und Erklären von Phänomenen in Natur und Technik ein. [...] Naturwissenschaftliche Kompetenz bedeutet Vertiefung, Erweiterung und Vernetzung der vorhandenen Kompetenzen der Lernenden und eine Metaperspektive auf die Denk- und Arbeitsweisen der Naturwissenschaften. Dazu zählen, Phänomene der Natur, der Technik und des Alltags aus naturwissenschaftlicher Perspektive zu beobachten, **mithilfe zunehmend abstrakter und komplexer Modelle zu beschreiben** und naturwissenschaftliche Fragestellungen aus diesen abzuleiten“ (KMK, 2020, S. 10).

Demnach ist das wissenschaftliche Vorgehen in den Naturwissenschaften geprägt von einer wechselseitigen Beziehung von Theorie und Empirie (KMK, 2020, S. 14–15; Krüger et al., 2018). Dabei sind die Beobachtung und theoretische Beschreibung eines Phänomens die Ausgangspunkte naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung. Die theoriebasierte Beschreibung von Phänomen mithilfe von Modellen und Konzepten sowie das Darstellen von Zusammenhängen bildet eine wichtige Grundlage für das Verständnis naturwissenschaftlicher Phänomene, die Gewinnung neuer Erkenntnisse und das Lösen offener, kontextbezogener Problemstellungen (KMK, 2005c, S. 8).

Insgesamt geht aus den normativen Kompetenzbeschreibungen der Bildungsstandards hervor, dass naturwissenschaftliche Beschreibungen auf Theorien basieren, Modelle zur Darstellung von Zusammenhängen enthalten und als Grundlage von Fragestellungen und Hypothesen dienen.

Diese Merkmale werden in den nachfolgenden Kapiteln unter einer fachdidaktischen Perspektive weiter ausdifferenziert. Hierzu werden anhand von Untersuchungen zu Fähigkeiten und Prozessen der Erkenntnisgewinnung relevante Merkmale einer naturwissenschaftlichen Beschreibung identifiziert.

3 NATURWISSENSCHAFTLICHE ERKENNTNISGEWINNUNG

Seit der Einführung der Bildungsstandards 2005 erleben die Fachdidaktiken einen Aufschwung in der Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz und versuchen die damit verbundenen Prozesse mit den Fähigkeiten und Fertigkeiten der Lernenden systematisch zu verknüpfen (vgl. Wellnitz et al., 2017). Die in den Fachdidaktiken entstandenen Kompetenzmodelle unterscheiden sich in den adressierten Kompetenzteilbereichen und dem Auflösungsgrad der damit verbundenen Fähigkeiten (Gut-Glanzmann & Mayer, 2018). Das ESNaS-Modell, das als Grundlage zur Evaluation der Bildungsstandards der Sekundarstufe I dient (Wellnitz et al., 2012), teilt den Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung in drei übergeordnete Bereiche:

- *Naturwissenschaftliche Untersuchungen*
Kompetenzteilbereiche: Beobachten, Vergleichen und Experimentieren,
- *Naturwissenschaftliche Modellbildung*
Kompetenzteilbereiche: Funktionalität, Modellanwendung und Grenzen,
- *Wissenschaftstheoretische Reflexion*
Kompetenzteilbereiche: Eigenschaften und Entwicklung.

Als Grundlage der Kompetenzmodellierung des Kompetenzteilbereichs *Naturwissenschaftliche Untersuchung* dient meist das hypothetisch-deduktive Wissenschaftsmodell von Popper (1994), welches durch ein theoriegeleitetes und Hypothesen prüfendes Vorgehen geprägt ist (Wellnitz et al., 2017). Das wissenschaftliche Vorgehen wird in den meisten Kompetenzmodellen in drei Schritten beschrieben, wobei einzelne Studien die Teilschritte weiter ausdifferenzieren² (Vorholzer et al., 2016):

- Formulierung von Fragen und Hypothesen
- Planung und Durchführung einer Untersuchung
- Auswertung und Interpretation der Ergebnisse

Im Rahmen des Kapitels werden ausgewählte Kompetenzmodelle und prozessbezogene Forschungen vorgestellt, die Rückschlüsse auf Merkmale einer naturwissenschaftlichen Beschreibung ermöglichen. Hierzu zählen Studien, die sowohl den Kompetenzteilbereich *Naturwissenschaftliche Untersuchungen*, als auch den Kompetenzteilbereich *Naturwissenschaftliche Modellbildung* adressieren. Die Auswahl wird dadurch begründet, dass Beschreibungen einerseits (1) der Ausgangspunkt *naturwissenschaftlicher Untersuchungen*

² Für eine Übersicht siehe u.a. Straube (2016, S. 38)

und die Grundlage der Hypothesenbildung darstellen und andererseits (2) Beschreibungen und Modellierungen von Phänomenen enthalten.

3.1 KOMPETENZTEILBEREICH NATURWISSENSCHAFTLICHE UNTERSUCHUNGEN

Wellnitz und Mayer (2013) entwickelten ein Kompetenzmodell zum Teilbereich *Naturwissenschaftliche Untersuchungen* für das Fach Biologie. Dabei unterscheiden sie die Erkenntnismethoden *Beobachten*, *Vergleichen* und *Experimentieren* und differenzieren diese gemäß der von Mayer (2007) und Grube (2011) identifizierten Prozessschritte: *Fragestellung*, *Hypothese*, *Planung*, *Untersuchung*, und *Datenauswertung* (Kap.3.1.2). Wellnitz und Mayer heben hervor, dass naturwissenschaftliche Erkenntnismethoden durch ein theoriegeleitetes, zielorientiertes, systematisches und intersubjektives Vorgehen geprägt sind (Wellnitz & Mayer, 2013). Methoden der Erkenntnisgewinnung variieren in Bezug auf die Natur ihrer Forschungsfragen und die daraus resultierenden Hypothesen. Diese Variation spiegelt sich, wie in Tabelle 2 dargestellt, in der spezifischen Aussagenlogik wider Tabelle 2.

Tabelle 2 Ausschnitt Kompetenzstruktur naturwissenschaftlicher Erkenntnismethoden aus Wellnitz & Mayer, 2013, S. 326

	Beobachten	Vergleichen	Experimentieren
Fragestellung	Welche Zusammenhänge bestehen zwischen Systemen und ihren Merkmalen sowie deren räumlichen und zeitlichen Auftreten?	Welche Unterschiede oder Gemeinsamkeiten weisen verschiedene Systeme auf? Welche Systeme lassen sich einer Kategorie zuordnen?	Welche Ursache liegt einem Phänomen oder Problem zu Grunde?
Hypothese	System A besitzt Merkmal X mit der Funktion Y System A und B weisen die räumliche Beziehung AB auf.	Die Systeme A und B gleichen sich im Kriterium X und unterscheiden sich im Kriterium Y.	Die unabhängige Variable (UV) hat einen Einfluss auf die abhängige Variable (AV)

Dabei zielt das Beobachten auf das Beschreiben von Zusammenhangssystemen durch die Auswertung korrelativer und funktionaler Zusammenhänge, das Vergleichen auf Ordnungssysteme durch Auswertung von Gruppen und hierarchischen Systemen und das Experimentieren auf Ursache-Wirkungssysteme durch Auswertung kausaler Zusammenhänge ab (Wellnitz & Mayer, 2013, S. 326). Zur Entwicklung des Testinstruments und Beschreibung von Niveaustufen dient in diesem Kompetenzmodell die *Komplexität* (Kauertz, 2008). Die Variation der Schwierigkeit erfolgt durch die Anzahl der zu berücksichtigenden Merkmalen bzw. Variablen und Zusammenhänge.

Anhand des Kompetenzmodells lassen sich Rückschlüsse auf die Ziele und Merkmale naturwissenschaftlicher Beschreibungen im Rahmen der Erkenntnisgewinnung ziehen. Unter

der Annahme, dass naturwissenschaftliche Beschreibungen der Ausgangspunkt von Erkenntnisprozessen sind, sollte eine naturwissenschaftliche Beschreibung Merkmale (Fakten) und Zusammenhänge eines Phänomens abbilden. Die Art der Zusammenhänge kann von relativen, funktionalen und kausalen Zusammenhängen variieren. Die *Komplexität* nach Kauertz (2008) könnte daher ein Merkmal zur Charakterisierung naturwissenschaftlicher Beschreibungen darstellen. Ferner sollten naturwissenschaftliche Beschreibungen die Kriterien naturwissenschaftlicher Methoden erfüllen. Das bedeutet, sie sollten theoriegeleitet, zielgerichtet, systematisch und intersubjektiv prüfbar sein.

Das nachfolgende Kompetenzmodell zur Erkenntnismethode Beobachten in der Biologie berücksichtigt das Beschreiben als Teilfähigkeit der Erkenntnismethode.

3.1.1 NATURWISSENSCHAFTLICHES BEOBACHTEN

Tabelle 3 Empirisches Modell zur Beobachtungskompetenz aus (Kohlhauf et al., 2011a, S. 219)

Dimension	Wissenschaftliches Denken					
	Ausprägung	Beschreiben	Fragen	Vermutung	Testen	Interpretieren
Systematisches Beobachten		viele Details; starker Fokus auf spezifischen Details		durchweg selbstständig		Beobachtung und Deutung werden voneinander getrennt
Unsystematisches Beobachten		wenige Details; schwacher Fokus auf spezifischen Details		teilweise mit Aufforderung		Beobachtung und Deutung werden vermischt
Inzidentelles Beobachten		wahrnehmen ohne Details		komplett oder meist mit Aufforderung		keine Deutung

Das Kompetenzmodell von Kohlhauf (2013) modelliert die Fähigkeiten des biologischen Beobachtens von Lernenden ab dem Vorschulalter bis zum Biologie-Lehramtsstudium. Dabei handelt es sich um ein dreidimensionales Modell mit den Dimensionen *Beschreiben*, *Wissenschaftliches Denken* und *Interpretieren*. Es erfasst drei Niveaustufen mit den Ausprägungen, *inzidentelles Beobachten*, *unsystematisches* und *systematisches Beobachten* (Tabelle 3). Die Dimensionen bilden in diesem Modell die Prozessschritte der Untersuchung ab. Als Untersuchungsgegenstand dienen eine Schnecke, ein Fisch und eine Wüstenrennmaus. Das Testinstrument besteht aus einem halbstandardisierten Leitfadeninterview im offenen Antwortformat. Kohlhauf quantifiziert die Ausprägung der Beschreibung durch die Anzahl der erfassten Details und differenziert zwischen *spezifischen* und *unspezifischen Details*. Im Rahmen dieser Operationalisierung werden Eigenschaften und Verhaltensweisen des

beschriebenen Objekts als Details definiert, wobei eine präzise Identifikation jedes Attributs erforderlich ist. Ein allgemeiner Ausdruck wie ‚farbig‘ gilt nicht als Detail, wobei die Angabe einer Farbe, wie beispielsweise ‚braun‘, als Detail betrachtet wird. Spezifische Details sind solche, die eine direkte Verbindung zu der Forschungsfrage aufweisen. (Kohlhauf, 2013, 161f).

Die Ausprägungen konnten in der gewählten Operationalisierung ansteigenden empirischen Schwierigkeitsausprägungen zugeordnet werden. Die dreidimensionale Struktur der Dimension *wissenschaftliches Denken* konnte empirisch nicht bestätigt werden. Kohlhauf kann mithilfe eines Strukturgleichungsmodells kleine bis mittlere signifikant positive Effekte von Sprachfähigkeiten und Vorwissen auf die Beobachtungskompetenz (Sprache: $\lambda = .28$, $p < .001$, Vorwissen $\lambda = .66$, $p < .001$) feststellen. Wohingegen das Sachinteresse der Lernenden einen geringen negativen Effekt auf die Beobachtungskompetenz hat ($\lambda = -.17$, $p < .05$) (Kohlhauf, 2013, S. 104).

Die Untersuchungen lassen Rückschlüsse für Merkmale einer Beschreibung zu. Naturwissenschaftliche Beschreibungen können demnach durch die Anzahl genannter Eigenschaften des Untersuchungsgegenstands und deren Spezifität charakterisiert werden. Im Vordergrund der Untersuchungen stand die Beschreibung von Tieren. Erweitert man den Untersuchungsgegenstand auf Phänomene, dann erweitert sich auch der Fokus der zu beschreibenden Details von Eigenschaften auf Prozesse und den damit verbundenen Zusammenhängen. Dementsprechend benötigt dies eine Anpassung der Operationalisierung von *Spezifität*.

Im Folgenden wird ein Ansatz zur Kompetenzmodellierung der Erkenntnismethode Experimentieren vorgestellt. Der Ansatz interpretiert den Experimentierprozess als einen Problemlöseprozess und dient als Grundlage zur Beschreibung von Prozessschritten und die damit verbundenen Fähigkeiten. Ferner ermöglicht dieser Ansatz eine kognitive Betrachtungsweise des Experimentierens, welches im Hinblick auf das theoriebasierte Beschreiben von beobachteten Phänomenen von Bedeutung ist.

3.1.2 EXPERIMENTIEREN ALS PROBLEMLÖSEPROZESS

Mayer (2007) beschreibt naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung „als komplexe[n], kognitive[n] wissensbasierte[n] Problemlöseprozess [...], der durch spezifische Prozeduren charakterisiert ist“ (Mayer, 2007, S. 181). Ein Problem liegt dann vor, wenn ein Phänomen anhand des vorhandenen Wissens oder der bestehenden Theorien nicht beschrieben werden kann. Als Grundlage zur Beschreibung der Prozeduren dient das *Scientific Discovery as Dual Search Modell* (SDDS-Modell) von Klahr (2000).

Im Rahmen des Modells werden zwei Domänen unterschieden, der *Hypothesenraum* und der *Experimentierraum*. Der experimentelle Erkenntnisweg wird dabei als iterativ-zyklischer Prozess als *Suche im Hypothesenraum*, *Suche im Experimentierraum* und *Evaluation der Ergebnisse* beschrieben. Die Suche im Hypothesenraum umfasst die Entwicklung einer Hypothese auf Basis domänenspezifischen Wissens und experimenteller Erkenntnisse aus vorangegangenen Untersuchungen. Die Hypothesen bilden die Grundlage für die Planung eines geeigneten Experiments bei der Suche im Experimentierraum. Dieser Schritt wird sowohl von domänenspezifischem Wissen als auch von methodischem Wissen beeinflusst. Die Evaluation der Ergebnisse vermittelt zwischen dem Hypothesen- und Experimentierraum, indem, aufgrund der gewonnen experimentellen Ergebnisse, die eingangs formulierte Hypothese verifiziert, falsifiziert oder weiter untersucht wird (Klahr & Dunbar, 1988).

Dieser Ansatz ermöglicht eine kognitionspsychologische Perspektive auf die experimentelle Kompetenz. Durch die Unterscheidung der Domänen ‘Hypothesenraum’ und ‘Experimentierraum’ werden kognitive und manuelle Operationen voneinander getrennt, sodass wiederum ermöglicht wird, dass die kognitiven Prozesse und die damit verbundenen Fähigkeiten des wissenschaftlichen Denkens (scientific reasoning) und personale Einflussvariablen, wie verschiedene Arten von Wissen, differenziert werden können (Grube, 2011).

Abbildung 1 zeigt die Ableitung der Teilkompetenzen des wissenschaftlichen Denkens anhand der Prozeduren des Problemlöseprozesses und das daraus resultierende Kompetenzmodell wissenschaftlichen Denkens.

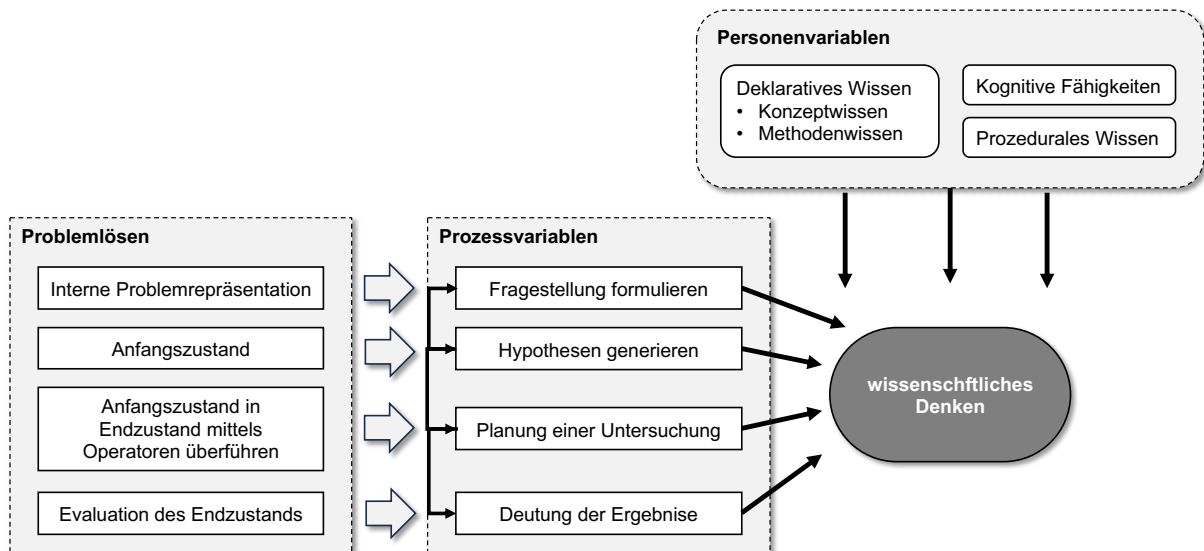


Abbildung 1 Teilkompetenzen wissenschaftlichen Denkens in Bezug zu den Prozeduren des Problemlösens- Kombinierte Abbildung aus (Grube, 2011, S. 21), verändert

Grube (2011) überprüft das daraus entstandene Kompetenzmodell für wissenschaftliches Denken. Die Personenvariablen werden nur indirekt durch die Parameter Schulform, Jahrgang und Biologienote erfasst und nicht explizit zum Untersuchungsgegenstand gemacht. Die Fähigkeiten wissenschaftlichen Denkens werden mithilfe eines Paper-Pencil Tests in einem offenen Antwortformat erhoben. Dadurch werden Prozessschritte, wie sie in einem authentischen Experimentierprozess stattfinden würden, verkürzt. Die Aufgaben beinhalten eine vorgefertigte Phänomenen- oder Problembeschreibung, anhand derer die Lernenden Fragen formulieren. Der Aufgabenstamm zum Formulieren von Hypothesen enthält eine Beschreibung eines naturwissenschaftlichen Experiments. Dies ermöglicht zwar eine isolierte Betrachtung der Fähigkeit, Hypothesen aufzustellen, jedoch bleibt die Frage unbeantwortet, ob die Lernenden in der Lage sind, adäquate Problembeschreibungen anzufertigen.

Dabei werden die von den Lernenden formulierten Hypothesen in fünf Niveaustufen graduiert (Grube, 2011, S. 41).

- Stufe 1: Einfache testbare Hypothese generieren
- Stufe 2: Hypothese mit Begründung durch Alltagsanalogien generieren
- Stufe 3: Hypothese auf Basis von Konzeptverständnis generieren
- Stufe 4: Generalisierende/quantifizierbare Hypothese generieren
- Stufe 5: Alternative Hypothesen berücksichtigen

Versteht man Hypothesen als Produkt aus vorangegangenen formulierten Phänomenen- oder Problembeschreibung, dann könnten Beschreibungen, die bereits einen Bezug zu theoretischen Konzepten (*theoretischen Bezug*) aufweisen, hilfreich zur Generierung von Hypothesen der

Niveaustufe 3 sein. Unter Rückbezug zu den beiden vorangegangenen Kapiteln sollten innerhalb der Beschreibung bereits die zu untersuchenden Zusammenhänge (*Komplexität*) enthalten sein, deren *Spezifität* das Generieren generalisierbarer oder quantifizierbarer Hypothesen erlaubt. In den nachfolgenden Kapiteln werden prozessbezogenen Forschungen zum handelnden Umgang mit Modellen und die damit verbundenen Fähigkeiten des Modellierens vorgestellt sowie diskutiert, um die bereits identifizierten Merkmale operationalisieren zu können.

3.2 KOMPETENZTEILBEREICH MODELLBILDUNG

Modelle sind ein wichtiges Hilfsmittel für die Gewinnung neuer Erkenntnisse und der Bearbeitung komplexer Problemstellungen (Krüger et al., 2018, S. 141). Modelle lassen sich als Repräsentationen von Phänomenen der Erfahrungswelt auffassen, die es erlauben, das Phänomen für einen bestimmten Zweck und zeitlich befristet zu beschreiben, sodass Hypothesen ausformuliert werden können (Krüger et al., 2018, S. 142). Dabei ist der Ausgangspunkt einer Modellierung die Beobachtung und Wahrnehmung eines Phänomens oder eine Problemstellung. Solche Wahrnehmungsprozesse sind verbunden mit komplexen kognitiven Prozessen, die von Erfahrungswissen und domänenspezifischen Wissen beeinflusst werden (ebd.). Diese Wahrnehmungsprozesse werden in der Kognitionspsychologie mithilfe der Theorie der *Mentalen Modelle* beschrieben, welche es erlaubt, Schwierigkeiten der Lernenden innerhalb domänenspezifischer Lernprozesse zu identifizieren. Da der Ausgangspunkt des naturwissenschaftlichen Beschreibens die Wahrnehmung eines Phänomens ist, wird im nachfolgenden Kapitel zunächst die Theorie der mentalen Modelle beschrieben. Anhand dieser Theorie können Annahmen über die semantische Struktur von Beschreibungen getroffen werden. Anschließend werden Studien vorgestellt, welche die Prozesse des Modellierens und die damit verbundenen Fähigkeiten der Lernenden untersuchen und relevante Zusammenhänge zwischen Merkmalen von Beschreibungen und diesen Fähigkeiten aufzeigen.

3.2.1 MENTALE, PHYSIKALISCHE UND MATHEMATISCHE MODELLE

Mithilfe des kognitionspsychologischen Modells der *mentalen Modelle* (instructional approach: Gentner & Stevens, 1983; theoretical approach: Johnson-Laird, 2004) können Wahrnehmungs- und Verstehensprozesse von naturwissenschaftlichen Phänomenen beschrieben werden (Nitz & Fechner, 2018, S. 71). Der Theorie nach werden von Situationen der 'Realen Welt' interne mentale Repräsentationen geschaffen, welche die „Struktur und die Dynamik des Phänomens mit seinen räumlichen, zeitlichen und kausalen Beziehungen anschaulich macht [...]“ (Nitz & Fechner, 2018, S. 70). Bei einer strukturellen Übereinstimmung zwischen Phänomen und

mentalem Modell ermöglicht dies eine mentale Simulation durchzuführen. Dadurch können Vorhersagen getroffen und neue Informationen über das Phänomen erschlossen werden; zudem ermöglicht es, Schlussfolgerungen zu ziehen und ein Phänomen zu erklären (vgl. Nitz & Fechner, 2018, S. 71). Die Theorie der mentalen Modelle bewegt sich zwischen zwei unterschiedlichen theoretischen Polen: dem *instructional approach* (Gentner & Stevens, 1983) und dem *theoretical approach* (Johnson-Laird, 2004). Nitz und Fechner (2018) stellen die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der beiden Pole systematisch gegenüber.

Beide Ansätze unterscheiden sich unter anderem hinsichtlich der Form der mentalen Repräsentation (Propositionen & Bilder vs. Propositionales Netzwerk) sowie der Speicherung solcher mentalen Modelle (Arbeitsgedächtnis vs. Langzeitgedächtnis). Dabei wird der *instructional approach* von Gentner und Stevens (1983) genutzt, um Lernprozessen zu beschreiben.

Im Rahmen dieser Arbeit, soll keine strenge Positionierung hinsichtlich dieser Pole erfolgen, da die Arbeit nicht das Ziel verfolgt, die kognitiven Prozesse oder die Struktur von Wissen zu untersuchen. Dennoch lassen sich anhand beider Theorien Schlussfolgerungen für das Analyseverfahren von naturwissenschaftlichen Beschreibungen ziehen. Beide Ansätze schreiben mentalen Modellen eine propositionale Struktur zu. Versteht man eine naturwissenschaftliche Beschreibung als eine externalisierte Form des mentalen Modells eines Phänomens, dann lassen sich Teile der propositionalen Struktur in den semantischen Aussagen der Beschreibungen wiederfinden. Einen Hinweis über die Beschaffenheit dieser propositionalen Struktur liefert die Untersuchungen von Greca und Moreira (2002).

Greca und Moreira (2002) orientieren sich am *instructional approach* und fokussieren die Domänenspezifität mentaler Modelle. Sie analysieren Verstehensprozesse im Kontext physikalischer Phänomene. Im Fokus der Analysen stehen die Beziehungen zwischen mentalen, physikalischen und mathematischen Modellen (Abbildung 2).

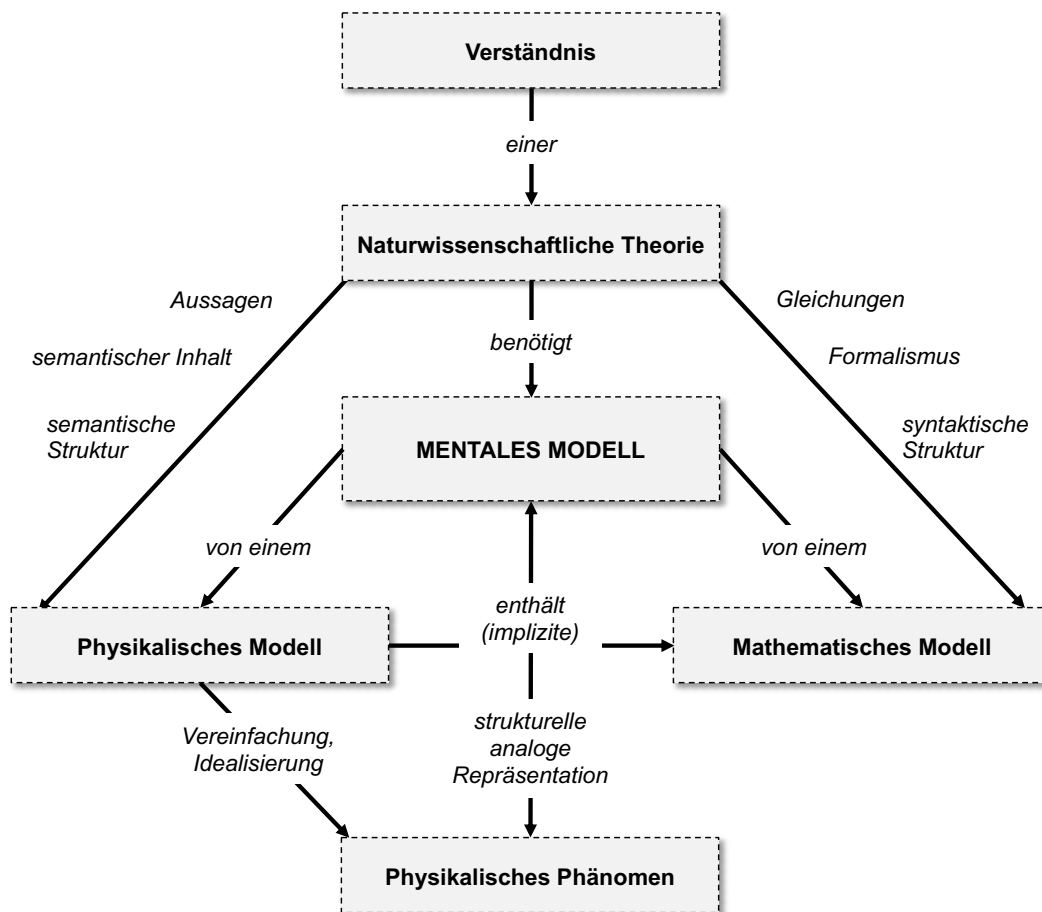


Abbildung 2 Zusammenhang mentales, physikalisches und mathematisches Model bei Verstehensprozessen physikalischer Phänomene, aus dem englischen übersetzt aus (Greca & Moreira, 2002, S. 111)

Greca und Moreira vertreten die These, dass für das konzeptionelle Verständnis einer wissenschaftlichen Theorie ein mentales Modell erforderlich ist, welches auf physikalischen Modellen basiert und eine strukturelle analoge Repräsentation eines Phänomens darstellt. Sie differenzieren zwischen physikalischen und mathematischen Modellen als Bestandteile des mentalen Modells, wobei mathematische Modelle in physikalische Modelle eingebettet werden. Dieser Prozess ist jedoch für physikalische Modelle nicht gleichwertig umkehrbar. Dies begründen sie damit, dass mathematische Modelle allein keine ausreichende Beschreibung eines Phänomens liefern, „da [ein mathematisches Modell] [...] einen Referenzrahmen vermissen lässt und semantisch blind ist [ins Deutsche übersetzt]“ (Greca & Moreira, 2002, S. 108). Demnach gewinnen die durch Gleichungen ermittelten Variablenwerte erst durch die Interpretation innerhalb des physikalischen Modells an Bedeutung. Das physikalische Modell wiederum beinhaltet semantische Aussagen einer wissenschaftlichen Theorie. Dabei bezieht sich die physikalische Theorie auf nicht direkt beobachtbare Systeme, Objekte oder Ereignisse. Demnach wird die Beziehung zwischen Theorie und Realität immer durch ein physikalisches Modell vermittelt (Greca & Moreira, 2002, S. 107). Ein physikalisches Modell befasst sich mit

einem vereinfachten und idealisierten physikalischen System oder Phänomen. Sie dienen als didaktische Hilfsmittel, um komplexe physikalische Prozesse zu veranschaulichen und erleichtern das Verständnis abstrakter Konzepte (ebd.). Greca und Moreira betonen, dass das Verständnis physikalischer Modelle durch die zuvor gebildeten mentalen Modelle beeinflusst wird.

Greca und Moreira (2002, S.112) stellen bei ihren Untersuchungen fest, dass Physikstudierende Schwierigkeiten haben, mentale Modelle zu bilden, die es ihnen erlauben, neue, aber ähnliche Situationen zu erklären. Außerdem stellen sie fest, dass Studierende, die Schwierigkeiten haben, mentale Modelle zu physikalischen Theorien zu bilden, dazu neigen, sich bei der Lösung von Problemen auf die Formeln und Gleichungen zu konzentrieren, wodurch sie eine reine mathematische Vorgehensweise bevorzugen (Greca & Moreira, 2002, S. 113). Weiter konnten sie feststellen, dass die mathematischen Gleichungen eine weniger wichtige Rolle bei der Beschreibung des Phänomens und Problemlöseprozessen spielen, wenn die Studierenden in der Lage sind, mentale Modelle der physikalischen Theorie zu bilden, die den wissenschaftlichen physikalischen Modellen entsprechen (ebd.). Diese Befunde decken sich mit Untersuchungen zu Problemlöseprozessen (Kap.3.2.4).

Greca und Moreira empfehlen, Modellierungsprozesse in Lehr-Lern-Kontexten explizit zum Lerngegenstand zu machen (ebd.). Dabei könnte das Anfertigen von wissenschaftlichen Beschreibungen ein geeignetes Medium sein, Unterscheidungen zwischen Objekten des Phänomens (situationsspezifisch) und Elementen der physikalischen Theorie (situationsunspezifisch) zu explizieren und gezielt zu fördern. Anhand des Ansatzes von Greca und Moreira wird deutlich, dass ein adäquates mentales Modell zur Repräsentation eines physikalischen Phänomens ein theoriebasiertes physikalisches Modell beinhaltet, das mit der Situation selbst verknüpft ist.

Für das Analyseverfahren dieser Arbeit bedeutet dies, dass in der propositionalen Struktur der Beschreibungen semantische Verknüpfungen zwischen Elementen des Phänomens und Elementen der Theorie enthalten sein sollten. Hinweise, wie ein solches Verfahren umgesetzt werden kann, liefert die Untersuchung von (Wagner, 2017).

3.2.2 ERKLÄREN MITHILFE VON MODELLEN

Wagner (2017) untersucht in seiner Forschungsarbeit sprachliche Erklärungen physikalischer Phänomene mithilfe von Modellen. Teil seiner Arbeit ist die Definition eines Modellbegriffs, der es erlaubt, die Begrifflichkeiten Modell, Modellieren und sprachliche Erklärung voneinander zu trennen. Hierzu analysiert er verschiedene Modellbegriffe (u.a. Gilbert et al., 2000; Gouvea & Passmore, 2017) und leitet drei wesentliche Eigenschaften von Modellen ab.

1. „Modelle repräsentieren partielle Ausschnitte von Phänomenen und Theorien und vermitteln zwischen diesen beiden Domänen.“(Wagner, 2017, S. 25, 2017, S. 25)
2. „Modelle sind als autonome, wissenschaftliche Werkzeuge durch den Kontext ihrer zweckgerichteten, teilweise unabhängigen Konstruktion und Verwendung definiert.“ (Wagner, 2017, S. 26)
3. „Modelle sind von ihrer externen Darstellung verschieden.“(Wagner, 2017, S. 27)

Daraus leitet er folgende Abgrenzungen der Begriffe *Modell*, *Modellieren* und *sprachliche Erklärung* ab:

„Festlegung ,Modell“: In einem Modell werden von einer Person oder einer Gruppe von Personen relevante Ausschnitte, d. h. Elemente und Beziehungen eines Phänomens, einer Theorie und ggf. aus weiteren Domänen für einen bestimmten wissenschaftlichen Zweck repräsentiert, wobei ein Modell von seinen unterschiedlichen Darstellungsformen verschieden ist.

Festlegung ,Modellieren“: Modellieren ist der Prozess der Konstruktion, Revision und Anwendung von Modellen, bei dem für einen bestimmten wissenschaftlichen Zweck relevante Elemente des Phänomens und der Theorie ausgewählt, in Beziehung zueinander gesetzt und dargestellt werden.

Festlegung ,(sprachliche) Erklärung“: Die (sprachliche) Erklärung eines Phänomens ist die (sprachliche) Darstellung eines Modells, in dem die relevanten Elemente des Phänomens und der betroffenen Theorie(n) ausgewählt und in fachlich korrekte Beziehungen zueinander gesetzt werden.“ (Wagner, 2017, S. 28)

Demnach kann man unter einer sprachlichen Erklärung eine Versprachlichung eines Modells verstehen. Wagner verwendet eine schematische Visualisierung, um die Zweckbezogenheit eines Modells zu verdeutlichen. Diese Darstellung ermöglicht es, eine naturwissenschaftliche Beschreibung von der sprachlichen Erklärung von Wagner abzugrenzen (Abbildung 3).

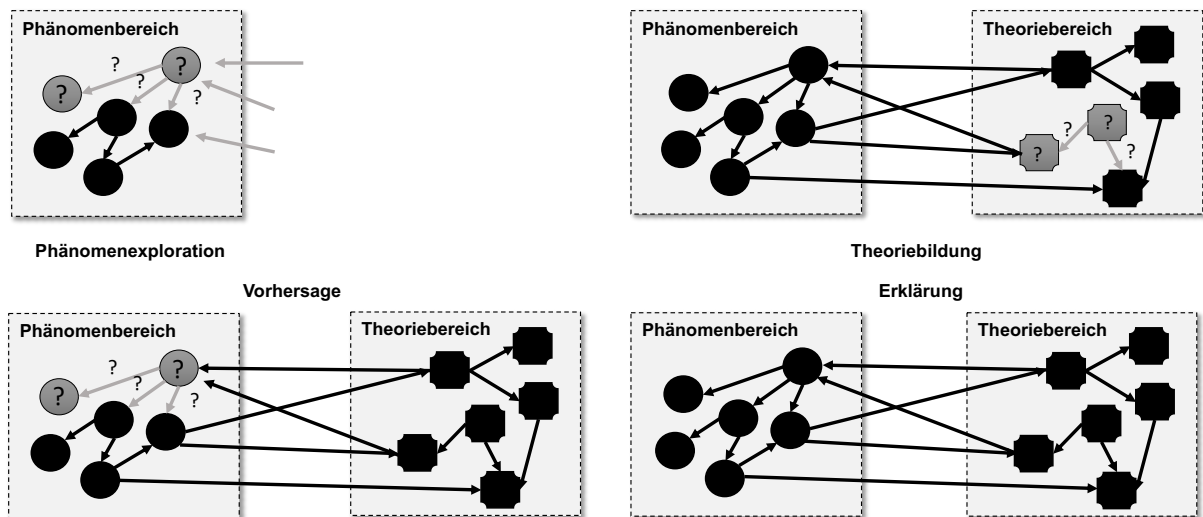


Abbildung 3 Visualisierung von Modellen zu verschiedenen ausgewählten Zwecken aus (Wagner, 2017, S. 31); verändert

Wagner unterscheidet zwischen zwei Bereichen, dem *Phänomenbereich* und dem *Theoriebereich*³. Der Phänomenbereich umfasst Elemente, die unmittelbar aus Alltagserfahrungen oder Weltwissen abgeleitet werden können. Der Theorienbereich umfasst Elemente, die anhand des konzeptionellen Wissens abgeleitet werden (ebd.).

Unter einer Phänomenexploration kann ein Strukturierungsprozess der Realität verstanden werden (ebd.). Bei der Theoriebildung werden die Beobachtungen eines Phänomens mit der Theorie in Beziehung gesetzt. Die Abbildung verdeutlicht, dass je nach Zweck gewisse Leerstellen im Phänomenen- und Theorienbereich auftreten. Diese Visualisierung lässt sich auf den Erkenntnisgewinnungsprozess übertragen und dadurch die epistemologische Funktion von Modellen verdeutlichen. So sind Beobachtungen eines Phänomens, welche nicht den aus der Theorie abgeleiteten Erwartungen entsprechen, Ausgangspunkt der Erkenntnisgewinnung. Diese führen zu Vorhersagen, welche durch Methoden der Erkenntnisgewinnung untersucht werden. Anhand der Ergebnisse der Untersuchungen können Schlussfolgerungen gezogen und die Lücken der Theorie vorläufig geschlossen werden. Hierbei lässt sich das naturwissenschaftliche Beschreiben vom Erklären wie folgt abgrenzen: Beim naturwissenschaftlichen Beschreiben handelt es sich zunächst um eine Problembeschreibung des Phänomens zu Beginn der Erkenntnisgewinnung, auf dessen Grundlage Hypothesen abgeleitet und eine Untersuchung geplant werden kann. Dabei bildet das naturwissenschaftliche Beschreiben die beiden Bilder der ersten Zeile ab (Phänomenexploration und Theoriebildung).

³ Hinweis zur Terminologie: Bei der Beschreibung der Forschungsarbeiten werden die Begrifflichkeiten der Autor:innen verwendet. Die Unterscheidung zwischen „realer“ und „mentaler“ Welt haben alle Forschungsarbeiten, die sich mit Modellieren und Problemlösen beschäftigen gemeinsam, auch wenn sie unterschiedliche Begrifflichkeiten verwenden.

Wohingegen bei einer Erklärung keine Lücken im Phänomenen- oder Theoriebereich vorhanden sind.

Wagner (2017) hat ein Analyseverfahren entwickelt, das die Zuordnung sprachlicher Äußerungen zum Phänomenen- und Theorienbereich sowie das Identifizieren von Verbindungen zwischen den beiden Bereichen erlaubt. Wagner visualisiert die propositionale Struktur mithilfe von Concept-Maps.

Die Analysen von sprachlichen Erklärungen von sechs Physikstudierenden und einem Experten der Physikdidaktik geben Hinweise darauf, dass Studierende Schwierigkeiten haben, Elemente des Phänomens mit Elementen der Theorie fachlich korrekt zu verknüpfen. Wagner führt dies auf eine verkürzte Darstellung von Zusammenhängen zurück. Die Beschreibungen des Experten finden dabei vorwiegend auf der theoretischen Ebene statt und weisen nur wenig Bezüge zum Phänomenbereich auf. Diese Beobachtungen decken sich mit den Befunden zu Problemlöseprozessen, die Unterschiede zwischen erfahrenen und unerfahrenen Lernenden bei der Nutzung von Theorien in Problembeschreibungen feststellen. Unerfahrene Lernende beschreiben dabei vorwiegend Elemente der Oberflächenstruktur, wohingegen erfahrene Lernende durch die Nutzung von Theorien und Modellen auf einer Tiefenstruktur beschreiben (Kap. 3.2.4). Bei der Analyse naturwissenschaftlicher Beschreibung ist die Untersuchung der Verbindung zwischen Theorie und Phänomen (*theoretischer Bezug*) also ein wichtiges Merkmal einer Beschreibung.

Im Rahmen dieser Arbeit kann das Verfahren von Wagner in Teilen adaptiert werden, um die Verwendung von Modellen innerhalb einer naturwissenschaftlichen Beschreibung zu identifizieren. Ob die Nutzung von Concept-Maps auch eine geeignete Methode bei der Analyse naturwissenschaftlichen Beschreibungen ist, wird in Kapitel 8.1 diskutiert.

In den nachfolgenden Kapiteln werden Untersuchungen zu Modellier- und Problemlöseprozessen vorgestellt, die Zusammenhänge zwischen Problembeschreibungen und der Leistung in Problemlöseprozessen aufweisen. Hierdurch wird die Relevanz des Beschreibungsmerkmals *theoretischer Bezug* begründet.

.

3.2.3 PHYSIKALISCHER MODELLIERUNGSKREISLAUF

Der physikalische Modellierungskreislauf nach Trump (2015) beschreibt den Modellierungsprozess physikalischer Problemsituationen in schulischen und hochschulischen Kontexten. Unter Kontexten versteht man innerphysikalische Anwendungsbeispiele (z. B. Berechnung des Brechungsindex unter Bestimmung der Brechungswinkel) und außerphysikalische Anwendungsbeispiele (Erklärung der Entstehung eines Regenbogens), wie sie zum Beispiel in Schulbüchern oder Abituraufgaben vorkommen (Trump, 2015, S. 50). Trump berücksichtigt in ihrem Modell die drei 'Wissenswelten' *Kontext*, *Physik* und *notwendige Mathematik*. Sie erweitert hierdurch bestehende mathematische Modellierungskreisläufe von Blum & Leiß (2005) und Borromeo Ferri (2006), die ausschließlich zwischen *Realität* und *Mathematik* unterscheiden, um die Wissenswelt der *Physik*. Begründet wird dies anhand kognitionspsychologischer Prozesse, die bei der Wahrnehmung stattfinden. Dabei ist die vorhandene Wissensbasis, anhand derer die Situation wahrgenommen wird, aufmerksamkeitslenkend und fundamental für die Interpretation und Rekonstruktion der Situation sowie das Anstellen von Schlussfolgerungen (Trump, 2015, S. 50). Bei der Modellierung eines physikalischen Problems ist es daher unerlässlich, die Wissensbasis der Physik zu berücksichtigen und verdeutlicht die Domänenspezifität (ebd.).

Außerdem passt Trump die Begriffe *Realität* und *Mathematik* an. *Realität* wird zu *Kontexten*, da die zu lösenden Problemsituationen immer in einen Aufgabenkontext eingebettet sind. Es handelt sich meist um konstruierte Probleme und somit nicht wirklich um einen Teil der ‚realen Welt‘ (Trump, 2015, S. 50). Die Wissenswelt *Mathematik* wird auf den Teilbereich der *Notwendigen Mathematik* verkleinert, da beim Lösen physikalischer Probleme nur auf das Gesamtgebiet der Mathematik zurückgegriffen wird. Ferner beschreibt das Modell von Trump auch komplexe Modellierungsaufgaben, die zum Beispiel nur aus einem Bild bestehen können (Trump, 2015, S. 53). In Hinblick auf Beschreibungen von naturwissenschaftlichen Phänomenen ist dieses Vorgehen notwendig, da Modellierungsaufgaben in den schulischen oder hochschulischen Kontexten oftmals als Bilder vorliegen.

Das Modell expliziert einzelne Schritte im Modellierungsprozess und benennt kognitive Prozesse, die zwischen den Schritten stattfinden. Nachfolgend werden die wesentlichen Schritte des Modellierungskreislaufes (Trump, 2015, S. 52–58) beschrieben und anschließend die Relevanz des Beschreibens herausgearbeitet.

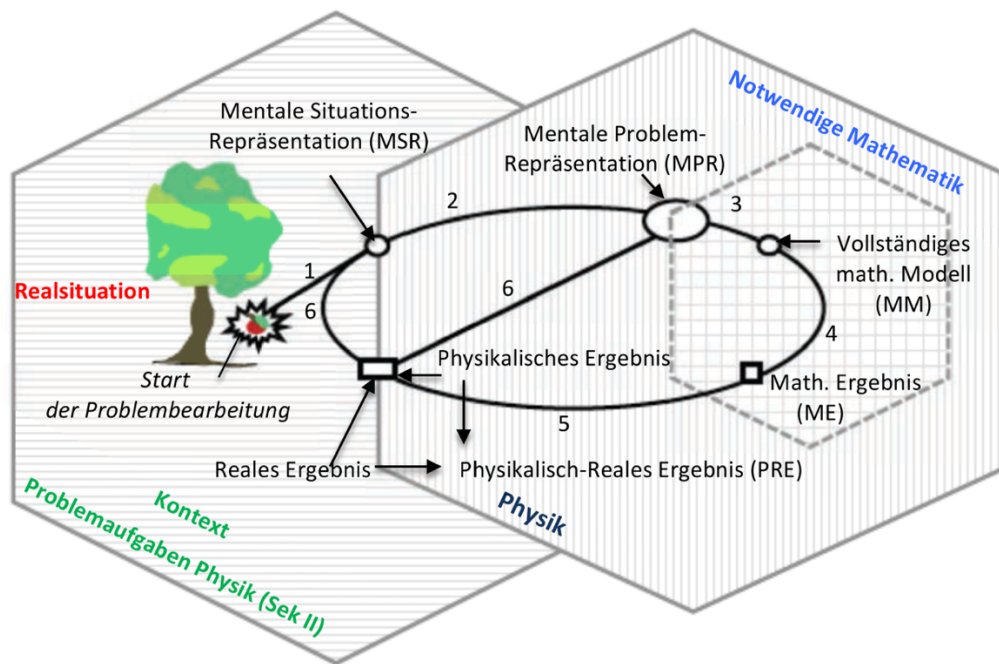


Abbildung 4 Physikalischer Modellierungskreislauf aus (Trump, 2015, S. 49)

1. Schritt: Erstellen der *Mentalen-Situations-Repräsentation* (MSR)

Im ersten Schritt wird auf Basis des Vorwissens und Alltagserfahrungen die gegebene Problemsituation wahrgenommen und eine individuelle *Mentale-Situations-Repräsentation* geschaffen. Im ersten Schritt findet zunächst keine Zielfokussierung, sondern vielmehr eine Orientierung statt. Es geht zunächst um das Verstehen der Problemsituation (was passiert; was ist gegeben; was ist meine Aufgabe?). Das Wissen, das zum allgemeinen Verstehen der Situation beiträgt, wird aktiviert. Dabei kann es sich bereits um physikalisches Wissen und physikalische Konzepte in Form von Fakten und Zusammenhängen handeln, wenn in der Aufgabenstellung physikalische Größen benannt werden, oder auch um mathematisches Wissen in Form von Relationen oder Größenordnungen (Trump, 2015, S. 52–53).

2. Schritt: Erstellen der *Mentalen-Problem-Repräsentation* (MPR)

Im zweiten Schritt wird die Struktur der *Mentalen-Situations-Repräsentation* durch die Beladung von physikalischem Wissen in eine *Mentale-Problem-Repräsentation* überführt. Ziel ist es, passend zur Fragestellung, relevante und irrelevante Größen und Zusammenhänge zu identifizieren und wichtige situative Rahmenbedingungen zu betrachten und zu berücksichtigen. Das hierdurch entstandene Modell soll in ein vollständig mathematisches Modell überführbar sein. Bei diesem Prozessschritt stehen die Fragen „Welches physikalische Wissen ist zur Bearbeitung der Fragestellung notwendig?“ Da physikalische Konzepte bereits in Teilen Mathematisierungen, wie

„Licht wird vom Lot weggebrochen“ enthalten können, ist die *Mentale-Situations-Repräsentation* ein Teil der Wissenswelt *Notwendige Mathematik* (Trump, 2015, S. 53)

3. Schritt: Erstellen des *Vollständigen Mathematischen Modells* (MM)

Im nächsten Schritt wird die *Mentale-Problem-Repräsentation* in ein *vollständiges mathematisches Modell* überführt, in dem eine Übersetzung in mathematische Repräsentationsformen wie Graphen, Skizzen und Gleichungen stattfindet. Durch die Verwendung von Gleichungen wird weiterhin Wissen der physikalischen Wissenswelt herangezogen. (Trump, 2015, S. 56)

4. Schritt: Erstellen des *mathematischen Ergebnisses* (ME)

Mithilfe des *vollständigen mathematischen Modells* wird durch innermathematisches Arbeiten (Gleichungen umformen, Rechenoperationen durchführen, Einheiten umformen, Werte in einen Graphen überführen) ein *mathematisches Ergebnis* erzeugt (z. B. Wert, Graph, geometrische Skizze) (Trump, 2015, S. 56).

5. Schritt: Erstellen des *physikalischen oder realen Ergebnisses* (PRE)

Das Ergebnis wird anschließend auf der Basis physikalischen Wissens unter Bezugnahme der *Mentalen-Situations-* und/oder *Mentalen-Problem-Repräsentation* interpretiert und die zu Beginn gestellte Frage wird mit einem passenden Ergebnis beantwortet. Bei einem unzureichenden Ergebnis wird im nächsten Schritt eine Validierung vorgenommen. (Trump, 2015, S. 56–57)

6. Schritt: Kontrolle von Ergebnissen und Validierung der *Mentalen-Problem-Repräsentation* und/oder der *Mentalen-Situations-Repräsentation* (VZ)

Ist das Ergebnis nicht plausibel oder beantwortet die Frage nicht zufriedenstellend, kommt zu einer Rückführung der mentalen Problem-Repräsentation und einer Validierung des Vorgehens und der Prozess wird erneut durchlaufen.

Trump untersucht ihr präskriptives Modell anhand von zwei verschiedenen Aufgabentypen. Eine der Aufgaben zu einem Positronen-Modell lässt sich auch mithilfe qualitativer Methoden lösen, ohne die *Mentale-Problem-Repräsentation* in ein *vollständiges mathematisches Modell* zu überführen. Dadurch kann sich der Modellierungskreislauf auf die ersten drei Schritte verkürzen. Daher ist das Modell auch zur Beschreibung von Modellierungsaufgaben geeignet, die ohne Mathematisierungen auskommen. Trump entwickelt ein qualitatives Analyseverfahren, das es ermöglicht, einzelne Prozessschritte beim Modellieren nachzuzeichnen. Hierzu analysierte sie die Modellierungsprozesse von Experten:innen (Doktorierende und Professor:innen der Physik, N = 32). Anhand ihrer Untersuchungen konnte Trump feststellen, dass die Prozesse nicht linear verlaufen und die Expert:innen im Laufe des

Prozesses mehrere Male zur *Mentalen-Problem-Repräsentation* zurückkehren. Sechs Personen lösten die Aufgabe nicht erfolgreich. Diese Personen zeigten Schwierigkeiten bei einer qualitativ-physikalischen Beschreibung des Problems. Sie nutzten entweder keine oder falsche physikalische Konzepte, um die Situation zu beschreiben oder überspringen den Schritt der physikalischen *Mentalen-Problem-Repräsentation*. Außerdem zeigten sie Schwierigkeiten bei der physikalischen Interpretation des mathematischen Ergebnisses (Trump, 2015, S. 137–138). Die von Trump identifizierten Schwierigkeiten decken sich mit Befunden anderer Studien, die Unterschiede in Problemlöseprozessen erfahrener und unerfahrener Personengruppen untersuchten (Kap. 3.2.4). Diese Studien liefern wichtige Hinweise auf Merkmale ‚guter‘ Problembeschreibungen und bekräftigen die Relevanz von Problembeschreibungen für das erfolgreiche Lösen von Problemstellungen. Nachfolgend werden die Erkenntnisse dieser Untersuchungen vorgestellt.

3.2.4 BEDEUTUNG VON PROBLEMBESCHREIBUNGEN

Aus der Experten-Novizen-Forschung zum Problemlösen geht hervor, dass Novizen Probleme vorwiegend auf einer Oberflächenstruktur beschreiben und weniger konzeptionelles Wissen heranziehen, um die inneren Zusammenhänge des gegebenen Problems auf einer Tiefenstruktur qualitativ zu beschreiben (Chi et al., 1981; Larkin et al., 1980). Dabei zeigt sich, dass sich Lernenden meist rückwärts einer Aufgabenlösung nähern, indem sie zu den gesuchten Größen eine passende mathematische Gleichung suchen, eine qualitative Beschreibung des Problems überspringen und das Problem mithilfe mathematischer Prozeduren lösen (Brandenburger, 2016; Docktor et al., 2015; Heller & Reif, 1984; Larkin et al., 1980).

Heller und Reif (1984) merken an, dass der Vergleich zwischen Experten und Novizen Grenzen aufweist, da bei Experten viele Prozessschritte automatisiert und verkürzt ablaufen. Um Lernende bei Problemlöseprozessen zu unterstützen, entwickeln Heller & Reif ein präskriptives Modell zum Problemlösen. Dabei nimmt die Problemrepräsentation eine fundamentale Stellung ein. In diesem Modell wird das Erstellen einer Problemrepräsentation in drei Schritte gegliedert (siehe Abbildung 5). Sie differenzieren zwischen *Situationsbeschreibungen* (basic description), die unter Nutzung von Allgemeinwissen oder Erfahrungswissen erstellt wird, und *theoretischen Beschreibungen* (theoretical description), für deren Erstellung domänenspezifisches Wissen herangezogen wird.

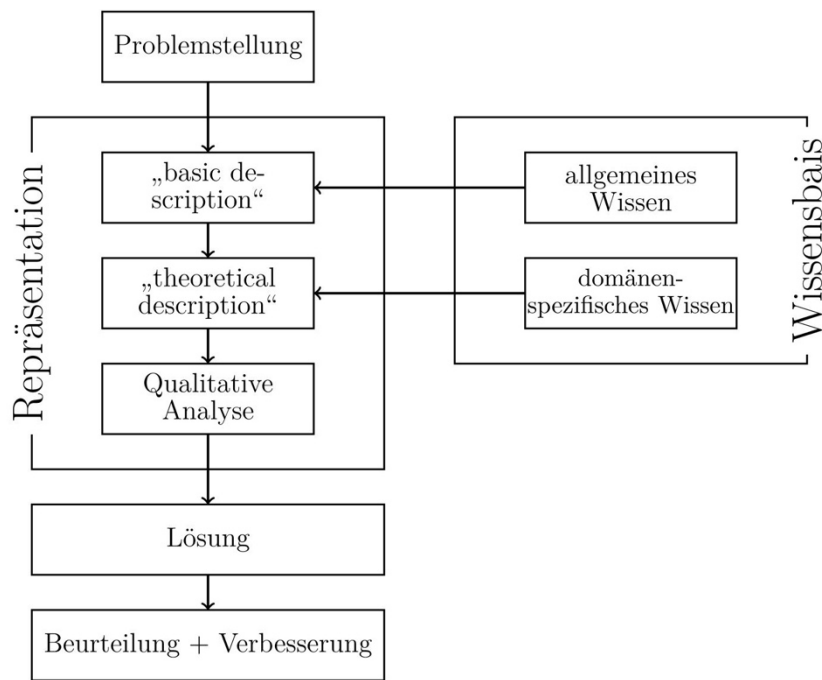


Abbildung 5 Problemlöseprozess nach Heller und Reif (1984) aus Brandenburger (2016)- CC BY-NC-ND 4.0⁴

Heller und Reif (1984) verwendeten ihr präskriptives Modell zur Erstellung instruktionaler Aufgaben, welche Physikstudierende dabei anleitete, qualitative Problembeschreibungen anzufertigen und stellten fest, dass dies einen positiven Einfluss auf das erfolgreiche Problemlösen hat.

Einen ähnlichen Ansatz verfolgten Docktor et al. (2015) mit dem *Conceptual Problem Solving* (CPS). Sie entwickelten Aufgaben für Schüler:innen auf Highschoolniveau, welche die Lernenden dazu anleitete, zuerst qualitative Beschreibungen des Problems anzufertigen und anhand dieser einen Problemlöse-Ansatz zu planen und schließlich durchzuführen. In einer Interventionsstudie mit einer Kontrollgruppe, die Problemlöseaufgaben klassisch nach dem ‚Gegeben/Gesucht-Ansatz‘ lösten, konnten Docktor et al. (2015) feststellen, dass der CPS-Ansatz einen positiven Einfluss auf die Problemlösefähigkeiten und das konzeptionelle Wissen der Lernenden hat.

Insgesamt deuten ältere und neuere Forschungsbefunde darauf hin, dass das Anfertigen qualitativer Problembeschreibungen einen positiven Einfluss auf das Problemlösen und das konzeptionelle Verständnis von Lernenden hat. Das Erstellen solcher qualitativen Problembeschreibungen muss jedoch bei den Lernenden angeleitet und unterstützt werden, da dieser Schritt bei Lernenden meist übersprungen wird. So nutzen Schüler:innen und

⁴ Die Abbildung unterliegt der „CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz“ und ist von der gewählten Lizenz für die Dissertation ausgenommen.

Studierende häufig falsche Konzepte zum Lösen von Problemen (Müller, 2003), obwohl sie über ein umfangreiches Wissen über Konzepte, Sachverhalte und Gesetzmäßigkeiten besitzen, diese jedoch nicht zur Lösung von Aufgaben und Problemen anwenden können (Rothe & Schindler, 1996).

Löffler (2016) vermutet zusätzlich einen Einfluss des Kontextes auf den Transfer des Wissens auf neue Problemsituationen. Die Untersuchungen von Löffler liefern wichtige Hinweise zu Merkmalen der Problemlösesituation und den Zusammenhang mit der Leistung in Problemlöseprozessen. Diese Untersuchungen sind für die Konstruktion von Beschreibungsaufgaben von Bedeutung und werden im nachfolgenden Kapitel erörtert.

3.2.5 MODELLANWENDUNG IN PROBLEMLÖSEAUFGABEN

Löffler (2016) entwickelte ein Kontextmodell, um den Einfluss verschiedener Merkmale von Problemlöseaufgaben auf die Leistung von Lernenden im Problemlöseprozess zu untersuchen. Das Kontextmodell unterscheidet zwei Ebenen, die *Surface Structure* und die *Deep Structure*. Die *Surface Structure*⁵ beschreibt „die Handlung der Problemsituation als miteinander in Bezug stehende, reale Objekte und Ereignisse“ (Löffler, 2016, S. 16). Der Begriff *real* umfasst wahrnehmbare und erfahrbare Eigenschaften einer gegebenen Situation, die durch Hilfsmittel wie Messgeräte oder Vergleiche mit Vorerfahrungen erschlossen werden können. Dies beinhaltet alle Informationen, die durch eine aktive Untersuchung der Situation gesammelt werden können (Löffler, 2016, S. 16). Die *Deep Structure* stellt die konzeptionelle Ebene eines Problems dar und umfasst das zugrundeliegende physikalische Modell⁶, bestehend aus *Fakten* und *Zusammenhängen* (Löffler, 2016, S. 20).

Löffler identifizierte drei Merkmale von Problemlöseaufgaben, die *Kontextualisiertheit*, *Transparenz* und *Komplexität*.

Die *Komplexität* (Kauertz, 2008) stellt ein schwierigkeiterzeugendes Merkmal der Ebene der *Deep Structure* dar. Das Komplexitätsniveau wird anhand der Lösungsstruktur der Aufgabe bestimmt. Eine Lösung, die aus der Nennung eines einzelnen physikalischen Fakts besteht, entspricht dem niedrigsten Komplexitätsniveau. Enthält die Lösung Zusammenhänge zwischen verschiedenen Modellelementen, steigt die *Komplexität*. Löffler beschränkte sich dabei auf die Komplexitätsniveaus hoch (mehrere Zusammenhänge) und niedrig (mehrere Fakten bis ein Zusammenhang) (Löffler, 2016, S. 20).

Die *Kontextualisiertheit* eines Problems ist niedrig, wenn es wenig irrelevante Eigenschaften von vorkommenden Objekten oder Ereignissen, sowohl der *Surface Structure* als auch der *Deep Structure* und damit vorwiegend relevante Informationen, die zur Beschreibung des Problems notwendig sind, enthält (Löffler, 2016, S. 19).

Die *Transparenz* ist hoch, wenn Modellelemente der Lösungsstruktur in der *Surface Structure* eingebunden sind und niedrig, wenn die eingebundenen Modellelemente nicht der Lösungsstruktur der *Deep Structure* entstammen (Löffler, 2016, S. 21).

⁵ Der Begriff *Surface Structure* ist anschlussfähig mit dem Begriff Phänomenbereich, wie ihn Wagner (2017) verwendet.

⁶ Der Begriff des physikalischen Modells, wie er in der Arbeit von Löffler verwendet wird ist anschlussfähig mit dem Begriff des physikalischen Modells von Greca und Moreira (2002).

Löffler untersuchte den Einfluss dieser Kontextmerkmale auf den Problemlöseprozess von Lernenden der zehnten Gymnasialklasse. Der Problemlöseprozess wird dabei im offenen Antwortformat erfasst und integriert auch schriftliche Problembeschreibungen der Lernenden. Die Untersuchungen zeigen, dass die *Transparenz* einen kleinen Effekt auf die Leistung in Problemlöseaufgaben hat, wohingegen kein Effekt der Merkmale *Kontextualisiertheit* und *Komplexität* festgestellt werden konnte. Löffler beobachtete jedoch einen großen Zusammenhang zwischen der Verwendung von Modellelementen bei der Problembeschreibung auf die Leistung im Problemlöseprozess der Lernenden. Dieser Effekt stellte sich größer als der Effekt von Vorwissen und die kognitiven Fähigkeiten der Lernenden heraus (Löffler, 2016, S. 7). Bei den Untersuchungen wurde nur überprüft, ob relevante Modellelemente in der Problembeschreibung vorkommen und nicht wie sich diese in ihrer Qualität unterscheiden. Eine differenziertere Betrachtung der Verwendung von Modellelementen, wie zum Beispiel die Verbindungen der genannten Modellelemente miteinander zu Zusammenhängen (*Komplexität*) oder die *Spezifität* (Kap.3.1.1) der dargestellten Zusammenhänge und Fakten, könnte einen feineren Auflösungsgrad der Operationalisierung darstellen und einen Zusammenhang zum Aufgabenmerkmal *Komplexität* aufweisen.

Zusätzlich vermutet Löffler einen Einfluss von epistemologischem Wissen auf die Modellanwendung und äußert den Bedarf der Berücksichtigung in künftigen Studien (Löffler, 2016, S. 7). Weitere Evidenzen hierzu liefert einerseits das Prozessschema naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung durch Modellieren von Krell et al. (2016) und andererseits die Modellierkompetenz nach Digel (2018). Sie beschreiben die notwendigen Fähigkeiten der Modellkompetenz in Erkenntnisprozessen. Hieraus können Schlussfolgerungen auf Fähigkeiten gezogen werden, die zum Anfertigen von (Problem-) Beschreibungen benötigt werden.

3.2.6 MODELLANWENDUNG IM ERKENNTNISPROZESS

Das Prozessschema naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung durch Modellieren von Krell et al. (2016) beschreibt die notwendigen Fähigkeiten der Modellkompetenz (siehe Abbildung 6: Teilkompetenzen grau hinterlegt).

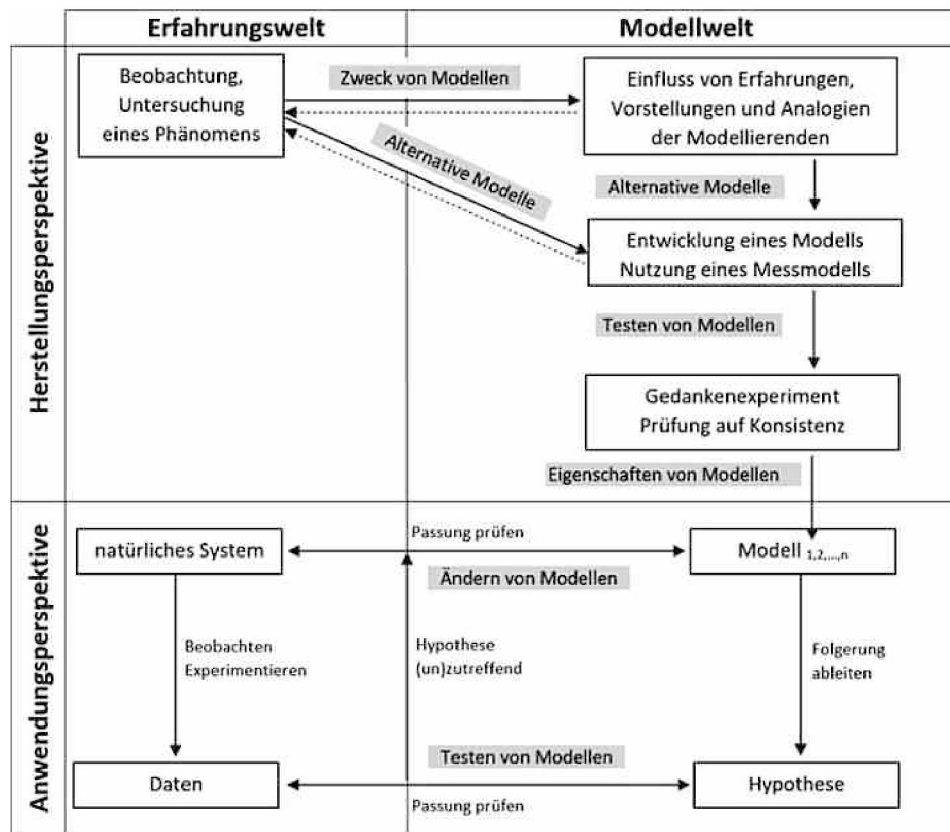


Abbildung 6 Prozessschema naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung durch Modellieren nach Krell et al. (2016) aus Krüger et al. (2018, S. 146)

Der Ansatz von Krell et al. folgt ähnlich dem SDDS-Modell oder dem Modell von Trump (2015) einer Unterteilung in ‚Erfahrungswelt‘ und ‚Modellwelt‘.

Demnach ist der Ausgangspunkt der Erkenntnisgewinnung die Beobachtung eines Phänomens der Erfahrungswelt, welches in ein mentales Modell (Kap. 3.2.1) überführt wird, das Eigenschaften und Zusammenhänge des Phänomens enthält. Dabei stellen die Teilkompetenzen *Alternative Modelle*, *Testen von Modellen* und *Eigenschaften von Modellen* wichtige elementare Fähigkeiten dar, um ein passendes Modell zur Beschreibung des Phänomens zu entwickeln. Anhand des Modells werden schließlich Hypothesen abgeleitet, die mithilfe von Untersuchungen überprüft werden. Das Kompetenzmodell unterscheidet die Teilkompetenzen nicht hinsichtlich der benötigten Wissensarten: deklaratives, prozedurales und metakognitives Wissen (Digel, 2018, S. 88). Die Teilkompetenzen *Eigenschaften von Modellen* bilden

deklarative Kenntnisse über etablierte Modelle ab, wohingegen *Alternative Modelle* und *Ändern von Modellen* vorwiegend epistemologisch-metakognitive Kenntnisse und Fähigkeiten abbilden. Prozessbezogene Fähigkeiten werden durch *Zweck von Modellen* und *Testen von Modellen* abgebildet. Digel (2018) entwickelte hierzu ein Kompetenzmodell, das die prozedurale Modellkompetenz feiner auflöst und adressiert dabei Fähigkeiten, wie das ‚Identifizieren relevanter Informationen‘, die für das Anfertigen von Beschreibungen notwendig sind.

3.2.7 MODELLIERUNGSKOMPETENZ

Digel (2018) entwickelte ein Kompetenzmodell für die physikalische Modellierkompetenz, das die verschiedenen Wissensarten trennt und die *prozedurale Modellierkompetenz* als separierbare Teilkompetenz erfasst, welche die Fähigkeiten des Modellierens in Erkenntnisgewinnungs- und Problemlöseprozessen beschreibt (Digel, 2018, S. 4).

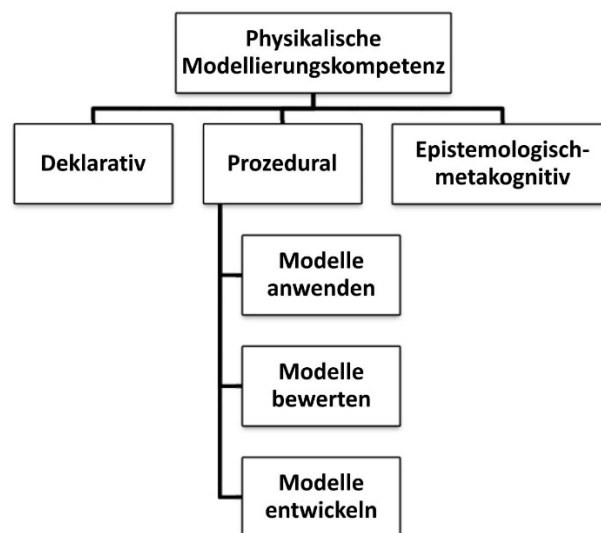


Abbildung 7 Kompetenzstruktur physikalischer Modellierungskompetenz aus Digel (2018, S. 99)

Die *deklarative Modellkompetenz* umfasst das konzeptionelle Wissen über etablierte Modelle (zum Beispiel: „Lichtwellen werden frequenzabhängig gebrochen“) sowie das Wissen über deren Modellcharakteristika (z. B. „Mit dem Wellenmodell kann die Lichtbrechung erklärt werden“) (ebd., S.64).

Das *epistemologische-metakognitive* Modellwissen umfasst ein Verständnis der Rolle von Modellen und des Modellierens in Erkenntnisprozessen und die Reflexion über die eigne Modellnutzung (ebd., S.65).

Die *prozedurale Teilkompetenzen* operationalisierte Digel (2018, S. 100), wie folgt:

„**Anwenden** etablierter physikspezifischer Modelle in einer Situation:

- ein Modell mit der Situation verbinden
- mithilfe eines Modells Vorhersagen/Erklärungen für eine Situation treffen

Bewerten etablierter physikspezifischer Modelle in einer/für eine Situation:

- Bewerten der Eignung eines Modells für eine spezifische Situation anhand der Situation (bzw. ihrer Beschreibung)
- Bewerten des Einsatzes eines Modells in einer spezifischen Situation anhand der Vorhersage mithilfe des Modells
- Begründete Auswahl aus mehreren Modellen für eine spezifische Situation

Entwickeln eines neuen physikalischen Modells auf der Basis etablierter Modelle, als Prozess in fünf Phasen:

- Zweck des Modells festlegen
- relevante Informationen und Bedingungen im System identifizieren
- physikalische Konzepte und (Teil-)Modelle aktivieren und zu einem neuen Modell verbinden
- Modell in der Situation nutzen, um die Beobachtung zu erklären, bzw. eine Vorhersage zu treffen, dabei die Modelleignung diskutieren
- Modell auf eine andere Situation transferieren, um den Anwendungsbereich und die Grenzen des Modells zu erfassen.“

Insbesondere die ersten drei Phasen der prozeduralen Teilkompetenz *Entwickeln*, stellen wichtige Fähigkeiten bei der Erstellung von naturwissenschaftlichen Beschreibungen mit einem *theoretischen Bezug* dar und wird in Kapitel 4.6 begründet.

Digel (2018) überprüfte ihr Kompetenzmodell für die Themenbereiche Optik und Mechanik. Bei ihren Untersuchungen berücksichtigte sie weitere Kovariaten, u. a. die Physiknote, eine Lehrereinschätzung der physikalischen Fähigkeiten (PFO/PFM), Natur of Science (NOS) und allgemeines Wissenschaftsverständnis (SUSSI). Zur Erfassung der *deklarativen Modellkompetenz* in Optik und Mechanik entwickelte sie jeweils einen Paper-Pencil-Test (DekMo-O, DekMo-M), welche die *deklarative Modellkompetenz* valide und reliabel abbilden. Das epistemologisch-metakognitive Modellkompetenz wurde mithilfe des *My Views of Models and Modelling in Science – VoMMS* (Treagust et al., 2004) Fragebogens erfasst. Die *prozedurale Modellkompetenz* (ProMo-O, ProMo-K) wurde ebenfalls mit einem Paper-Pencil-Test erhoben, welcher auch offene Aufgabenformate enthält. Das Kompetenzmodell wurde für den Themenbereich Mechanik durch die Bearbeitung der Testaufgaben durch Schüler:innen

(N = 629) der Klassen 9–13 und für den Themenbereich Optik durch die Bearbeitung von Schüler:innen (N = 114) der 12. und 13. Klasse überprüft.

Insgesamt konnte Digel die dreidimensionale Kompetenzstruktur der *prozeduralen Modellkompetenz* bestätigen und die Konstrukte valide erfassen. Dabei korreliert die *deklarative* Modellkompetenz mittel bis stark mit den prozessbezogenen Modellierungskompetenzen (Teilkompetenz Entwickeln: $r = .67, p < .001$). Der DekMo-O korreliert leicht bis mittel mit der Physiknote ($r = -.40, p < .001$) (Digel, 2018, S. 232). Überdies stellt das Kursniveau Leistungs- und Grundkurs ein starker Prädiktor für die prozedurale Modellteilkompetenz *Entwickeln*, dar (Anpassungsgüte $R^2 = .453$, Prädiktor Kursniveau $\beta = .536$). Sprachliche Fähigkeiten haben keinen signifikanten Einfluss auf die *prozedurale Modellkompetenz*.

3.3 ZUSAMMENFASSUNG KAPITEL 3

Im Rahmen des Kapitels wurden Wahrnehmungs- und Verstehensprozesse naturwissenschaftlicher Phänomene beschrieben und mit naturwissenschaftlichen Methoden der Erkenntnisgewinnung in Beziehung gesetzt. Dabei konnte die wichtige Funktion naturwissenschaftlicher Beschreibungen innerhalb Erkenntnis-, Problemlöse-, und Modellierprozesse begründet und erste Hinweise für Merkmale zur Operationalisierung naturwissenschaftlicher Beschreibungen gefunden werden.

Zum Anfertigen einer Problembeschreibung müssen die Lernenden relevante Eigenschaften und Zusammenhänge in der Problemstellung identifizieren und anhand konzeptionellen Wissens interpretieren (*theoretischer Bezug*) und in eine kohärente Beschreibung überführen. Wie stark die für die Problemlösung relevanten Zusammenhänge und Konzepte bereits in der Problemstellung erkennbar sind, hat einen Einfluss auf die Modellierung des Problems (Löffler, 2016). Löffler bezeichnet dieses Aufgabenmerkmal als *Transparenz*. Das Identifizieren relevanter Merkmale und Zusammenhänge bei niedriger *Transparenz* ist ein Teil von Modellkompetenz (Krüger et al., 2018). Modellkompetenz umfasst neben prozeduralen Fähigkeiten, wie das Auswählen und Anwenden von Modellen auch Fähigkeiten der *deklarativen Modellkompetenz*, welches Wissen über Modelle (z. B. Wellenmodell) umfasst (Digel, 2018). Ferner können auch Fähigkeiten der *Beobachtungskompetenz* (Kohlhauf et al., 2011b) einen Einfluss auf das Anfertigen einer naturwissenschaftlichen Beschreibung haben. Hierzu zählt der Grad der *Spezifität* der genannten Eigenschaften und Zusammenhängen in der Beschreibung. Das Anfertigen einer Beschreibung mit vielen spezifischen Details ist Teil von *Beobachtungskompetenz* (ebd.). Da eine Beschreibung die Grundlage der Hypothesengenerierung darstellt, sollten innerhalb der Beschreibung bereits Eigenschaften des Phänomens zu Zusammenhängen (*Komplexität*) verbunden vorfindbar sein, um daraus überprüfbare Hypothesen ableiten zu können.

Bislang wurde das naturwissenschaftliche Beschreiben in seiner epistemologischen Funktion dargestellt. Im nachfolgenden Kapitel wird das naturwissenschaftliche Beschreiben auf der sprachlichen Ebene betrachtet, welches eine Überführung in ein Untersuchungsmodell naturwissenschaftlicher Beschreibungen ermöglicht.

4 NATURWISSENSCHAFTLICHES BESCHREIBEN

Das Beschreiben und Erklären sind häufig verwendete Sprachhandlungen in Lehr-Lern-Kontexten und erfüllen unterschiedliche Funktionen. Zu den Funktionen gehören das Erweitern von Wissen durch Unterrichtsgespräche oder die Bearbeitung von Lernaufgaben, das Überprüfen von Wissen in Leistungsaufgaben (Operatorfunktion) und schließlich auch das Erlernen der Fähigkeiten zum Durchführen der Sprachhandlungen im Sinne von Sprachbildung (Tiedemann, 2020, S. 21–22). Daher ist das Beschreiben in einem Bildungskontext mit unterschiedlichen Vorstellungen verbunden, weshalb es eine begriffliche Abgrenzung bedarf, insbesondere zum Begriff des Erklärens. In diesem Kapitel soll zunächst diese Abgrenzung erfolgen und anschließend wird das naturwissenschaftliche Beschreiben unter zur Hilfenahme linguistischer und fachdidaktischer Modelle operationalisiert.

4.1 BEGRIFFLICHE ABGRENZUNG

Das Beschreiben und Erklären sind Sprachhandlungen und zeichnen sich durch eine der Situation angemessene, effiziente und zweckgerichtete Verwendung von Sprache aus (Tajmel, 2017, S. 308). Sie dienen der Erarbeitung und Bearbeitung von Wissen und lassen sich als wissensprozessierende Handlungen bezeichnen (Redder et al., 2013). Sprachhandlungen haben ihren Ursprung in der Sprechakttheorie und werden als Kommunikation verstanden. Sie setzt sich aus drei Handlungen (Akten) zusammen: die sprachliche Formulierung der Äußerung, die kommunikative Intention und die Wirkung auf die adressierte Person (Tajmel, 2017, S. 307–308).

In der funktionalen Pragmatik werden Sprachhandlungen anhand ihrer Zweckbezogenheit charakterisiert und differenziert (Maisano, 2019, S. 28). Im Rahmen dieser Arbeit, liegt der Fokus auf der Funktion der Wissenserweiterung, da das naturwissenschaftliche Beschreiben im Rahmen von Erkenntnisprozessen betrachtet wird.

In der funktionalen Pragmatik werden die Sprachhandlungen des Beschreibens und Erklärens in schulischen Kontexten wie folgt unterschieden: Das Beschreiben beschränkt sich auf die sichtbaren Eigenschaften einer Entität oder eines Prozesses (Was?), wohingegen beim Erklären auf die inneren Zusammenhänge und die Ursachen benannter Eigenschaften und Prozesse eingegangen wird (Warum?). Auf einer sprachlichen Ebene weisen Beschreibungen vorwiegend additive Aneinanderreihungen von Fakten auf, wohingegen das Erklären geprägt von konditionalen und kausalen Konnektoren (Redder et al., 2013) ist. Dies widerspricht zunächst den bisher dargelegten Eigenschaften einer naturwissenschaftlichen Beschreibung,

kann aber trotzdem in Einklang mit der pragmatisch-linguistischen Perspektive gebracht werden. Obwohl das Beschreiben und Erklären eine deutliche Nähe zueinander aufweisen (Maisano, 2019, S. 18), lassen sie sich durch die Betrachtung der Situationsangemessenheit und ihrer Funktion voneinander abgrenzen. Im Rahmen einer Versuchsbeschreibung ist das Beschreiben zum Beispiel im engeren Sinne situationsangemessen, da an dieser Stelle Beobachtung und Deutung voneinander getrennt werden und dies ein Gütekriterium wissenschaftlichen Arbeitens darstellt. Zu Beginn einer Untersuchung ist es jedoch sinnvoll, anhand von naturwissenschaftlichen Theorien und Modellen die inneren Zusammenhänge eines Phänomens zu beschreiben, die auch kausale und konditionale Zusammenhänge beinhalten, um anhand dieser Beschreibungen überprüfbare Hypothesen generieren zu können (Kap. 3.2.4).

Eingebettet in den Kontext der Erkenntnisgewinnung müssen die Definitionen der pragmatischen Linguistik der Sprachhandlungen *Beschreiben* und *Erklären* angepasst werden. Eine Einordnung in den Erkenntnisprozess erlaubt eine Abgrenzung der beiden Begriffe wie im Folgenden dargestellt.

Im Rahmen dieser Arbeit wird das Beschreiben als eine Methode wissenschaftlichen Arbeitens verstanden, die im Rahmen der Erkenntnisgewinnung dazu dient, vorhandenes konzeptionelles Wissen über ein Phänomen zu repräsentieren. Eine naturwissenschaftliche Beschreibung stellt eine Problemrepräsentation dar, anhand dieser Hypothesen generiert und Untersuchungen geplant werden können. Anhand der gewonnenen Daten werden am Ende des Erkenntnisprozesses Schlussfolgerungen gezogen und die anfängliche Problemrepräsentation angepasst, um das Phänomen zu erklären.

4.2 BESCHREIBEN ALS KOMMUNIKATIONSPROZESS

Sprachhandlungen sind zweck- und adressatengebunden. So dient das Beschreiben dem Wissenstransfer, sodass die adressierte Person in der Lage ist, eine Vorstellung des Sachverhalts zu entwickeln (Tiedemann, 2020, S. 20). In der Text- und Gesprächslinguistik wird daher die Textproduktion als Kommunikationsprozess verstanden (vgl. Heinemann, 2000). Eine schriftliche Beschreibung lässt sich daher als monologische Kommunikation interpretieren.

Jede Kommunikation findet innerhalb eines Diskursrahmens statt, der einzelne Diskursmerkmale definiert und reglementiert (Dietrich & Gerwien, 2017, S. 123). Der Diskursrahmen umfasst die kommunikative Aufgabe mit der durchzuführenden Sprachhandlung (Beschreiben), die zu beschreibende Situation, einen Kontext, in den die Situation eingebettet ist, eine adressierte Person und eine Quaestio (explizit oder implizit gestellte Frage), die durch die Sprachhandlung beantwortet werden soll. Aus der Quaestio ergeben sich folgende Vorgaben für den Aufbau der Beschreibung (Stutterheim, 1997, S. 19):

- 1) Festlegung des Themas und die damit verbundene Selektion eines bestimmten Wissensausschnitts bei der sprechenden Person
- 2) Festlegung einer Perspektive, die spezifische Verankerung und Strukturierung des vorhandenen Wissens
- 3) Linearisierung, die sequenzielle Organisation der Informationseinheiten

Die *Linearisierung* der Informationseinheiten kann unter anderem durch eine referenzielle Bewegung durch den Raum (z. B. ein Bild von oben nach unten beschreiben) oder durch eine zeitliche Abfolge von Ereignissen erfolgen (Stutterheim & Kohlmann, 2001, S. 1281–1282). Letzteres ist zum Beispiel bei naturwissenschaftlichen Fragen, die auf Prozesse abzielen, eine geeignete Linearisierungsstrategie.

Bei der Erstellung der Beschreibung muss die beschreibende Person sowohl die Vorgaben der Quaestio einhalten, als auch die Konventionen der Sprachgemeinschaft und die gemeinsamen Wissensbestände (z. B. Fachwissen) der adressierten Person berücksichtigen (Stutterheim & Kohlmann, 2001, S. 1279).

Die Beantwortung der Quaestio durch die Beschreibung kann anhand folgender Merkmale rekonstruiert werden:

- Selektion der relevanten Informationen
- Interpretation und Deutung des Sachverhalts anhand des Wissens (Alltags-/oder Fachwissen) des Sprechers
- Organisation der Informationseinheiten (Linearisierung)

Stutterheim & Kohlmann (2001, S. 1282) bezeichnen Beschreibungstexte „als Fenster, durch das sich Sprachproduktionsprozesse betrachten lassen“. Anhand der genannten Merkmale können Prinzipien der Sprachproduktion untersucht werden. Dabei ist eine an den Sachverhalt angepasste Linearisierungsstrategie ein wesentliches Merkmal zur Herstellung von Kohärenz (vgl. Stutterheim & Kohlmann, 2001, S. 1283), die für das Verstehen der Beschreibung notwendig ist. Das schließt nicht aus, dass die Linearisierung im Laufe der Beschreibung wechseln kann. Zum Beispiel kann eine Beschreibung der Situation mit einer referenziellen Bewegung durch den Raum beginnen, um die Rahmenbedingungen einer Situation deutlich zu machen und durch anschließend durch die zeitlichen Abläufe fortgesetzt werden (Stutterheim & Kohlmann, 2001, S. 1282).

Im Rahmen dieser Arbeit wird das naturwissenschaftliche Beschreiben eines Phänomens als Kommunikation aufgefasst, in der die Aufgabenstellung die Funktion des Gesprächspartners übernimmt und den Diskursrahmen festlegt. Zur Analyse naturwissenschaftlicher Beschreibungen werden die oben genannten Merkmale herangezogen, indem die Konvention der naturwissenschaftlichen Sprachgemeinschaft berücksichtigt werden. Im nachfolgenden Kapitel werden diese Konventionen mithilfe des Modells physikalischer Kommunikationskompetenz von Kulgemeyer (2010) identifiziert und erörtert.

4.3 PHYSIKALISCHE KOMMUNIKATIONSKOMPETENZ

Kulgemeyer (2010) entwickelt ein Kompetenzmodell zur Erfassung der physikalischen Kommunikationskompetenz. Als Basis dient ein konstruktivistisches Kommunikationsmodell (siehe Abbildung 8).

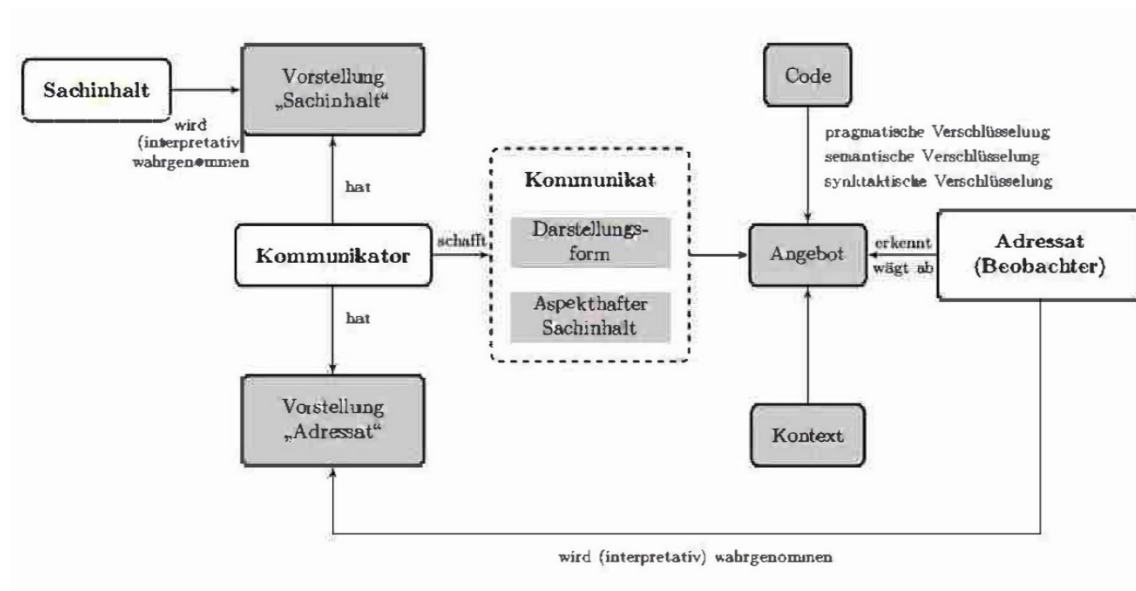


Abbildung 8 Konstruktivistische Kommunikationsmodell (Kulgemeyer, 2010, S. 62)

Gemäß dem Modell ist eine Kommunikation zunächst als ein Angebot des Kommunikators an die adressierte Person zu verstehen, das aufgrund seiner Attraktivität angenommen oder abgelehnt werden kann. Kulgemeyer (2010) misst die Kommunikationskompetenz an der Fähigkeit, ein sachgerechtes und adressatengemäßes Kommunikat zu erstellen, das attraktiv genug ist, um von der adressierten Person angenommen zu werden.

In diesem Zusammenhang identifizierte Kulgemeyer vier Aspekte, die in ihrer Gestaltung für die Attraktivität des Kommunikats wesentlich sind, und den Erfolg des Kommunikationsvorgangs bestimmen:

1. der gewählte Sachaspekt (z. B. Brechung)
2. der Kontext, in dem das Kommunikat eingebettet ist (z. B. Regenbogen)
3. der Code, mit dem das Kommunikat verschlüsselt ist (z. B. Fachsprache)
4. die illustrierende Darstellungsform (z. B. Strahlengang)

Jeden dieser vier Aspekte betrachtete er hinsichtlich der Perspektiven *adressatengemäß* und *sachgerecht*. Das *adressatengemäße* Kommunizieren umfasst (Kulgemeyer, 2010, S. 63):

- a) die Wahl eines Kontextes, der das Vorwissen und das Interesse der adressierten Person berücksichtigt
- b) die Wahl des Codes, unter der Berücksichtigung des Vorwissens (Fachsprache vs. Alltagssprache)
- c) die Wahl der Darstellungsform unter Berücksichtigung des Vorwissens
- d) die Wahl der zu kommunizierenden Sachinhalten, die das Vorwissen und Interesse berücksichtigen

Das *sachgerechte Kommunizieren* umfasst die Fähigkeit, Sachinhalte fachlich adäquat, korrekt und konsistent sowie unter Berücksichtigung fachlichen Konventionen in ein Kommunikat zu überführen (Kulgemeyer, 2010, S. 64).

Bezogen auf die vier Aspekte bedeutet dies (ebd.):

- a) die Wahl eines sachgerechten Codes
- b) die Wahl einer sachgerechten Darstellungsform
- c) die logische und fachlich angemessene Wahl von Sachaspekten als Argumente

Kulgemeyer (2010, S. 64) betont, dass „die physikalische Kommunikationskompetenz prinzipiell für alle kommunizierende Individuen anwendbar ist – insbesondere aber für Schülerinnen bzw. Schüler und natürlich ebenso auch für Lehrkräfte. Beide Gruppen unterscheiden sich primär im Grad der Expertise.“ Die Domänenspezifität spiegelt sich in der Operationalisierung von sachgerecht und adressatengemäß bezüglich der oben genannten Aspekte wider.

Die Perspektiven (*sachgerecht* und *adressatengemäß*) und Aspekte (Kontext, Code, Darstellungsform und Sachaspekt) werden um einen kognitiven Beiwert ergänzt, welcher die Konstruktion von Testaufgaben mit unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden ermöglicht. Das Kompetenzmodell von Kulgemeyer (2010) umfasst somit eine dreidimensionale Struktur (siehe Abbildung 9).

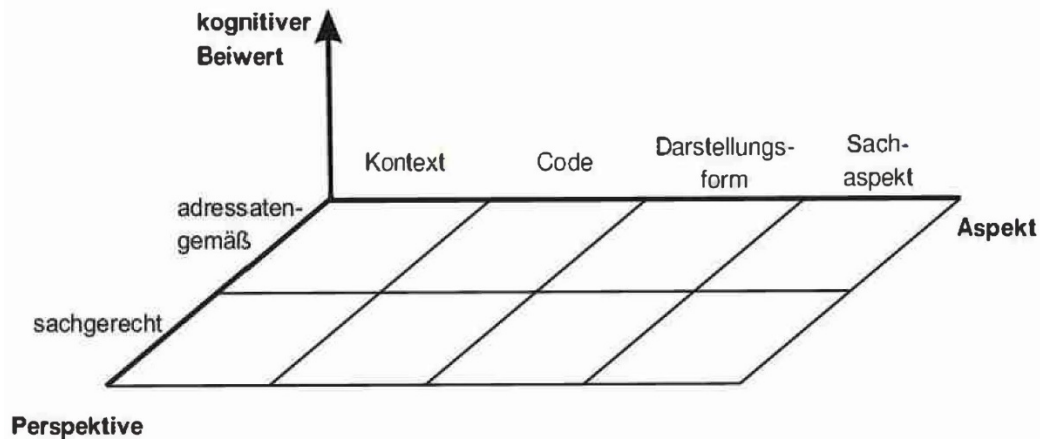


Abbildung 9 Modell der Physikalischen Kommunikationskompetenz (Kulgemeyer, 2010, S. 81)

Im Rahmen des Entwicklungsprozesses wägte Kulgemeyer zwei Möglichkeiten zur Definition des kognitiven Beiwerts gegeneinander ab. Eine Möglichkeit, den kognitiven Beiwert zu definieren, ist die Komplexität der Sachstruktur (Kauertz, 2008). Sie umfasst die Anzahl der notwendigen Gedankenschritte bei der Lösung einer Aufgabe. Zudem sind die Qualität (Fakt, Zusammenhang, übergeordnetes Konzept) und die Quantität (Anzahl der Fakten und Zusammenhänge) beinhaltet. Auch in der aktuellen fachdidaktischen Diskussion wird die Komplexität nach wie vor als eine wichtige Dimension von Sachkompetenz beschrieben (Vorholzer & Aufschnaiter, 2020). Kulgemeyer (2010) sieht bei diesem Vorgehen für die Kommunikationskompetenz eine erhebliche Einschränkung, da mithilfe der Komplexität lediglich der zu kommunizierende Sachinhalt gestuft werden würde. Daher beschreibt er eine zweite Möglichkeit den kognitiven Beiwert zu bestimmen. Diese berücksichtigt die kognitiven Prozesse, die im Rahmen der Sprachproduktion stattfinden (Kulgemeyer, 2010, S. 78):

- Kommunikationsplanung (Wahrnehmung des Kommunikationsrahmens, Bestimmung des Kommunikationsziels, Adressatenrückkopplung)
- Konzeptionalisierung (Sachaspektauswahl, lexikalischer Zugriff (Konzepte) Linearisierung)
- Formulatorprozess (Lexikalischer Zugriff (Lexeme))

Er stellt dabei fest, dass die einzelnen Schritte zwar bei jeder Kommunikation zwangsläufig durchlaufen werden, aber durch die Konstruktion der Aufgaben so beeinflusst werden kann, dass die Aufgabe die notwendigen Informationen bereitstellt. So kann in der Aufgabe bereits eine alternative Darstellung gewählt werden, welche die Auswahl der Sachaspekte oder der *Linearisierung* vereinfachen. Dies deckt sich mit den Befunden von Löffler (2016), der das Vorkommen für die Lösung relevante Modellelemente in der Problemsituation als *Transparenz*

bezeichnet (Kap.3.2.5). Dieser Aspekt wird als schwierigkeitserzeugendes Merkmal in Kapitel 4.7 diskutiert.

Das normative Kompetenzmodell von (Kulgemeyer, 2010) bildet eine wichtige Basis, um Merkmale naturwissenschaftlicher Beschreibungen zu identifizieren. Insbesondere die Perspektiven der *sachgerechten* und *adressatengemäßen* Kommunikation decken sich mit den Forderungen der linguistischen Perspektive des vorangegangenen Kapitels, welche Individuen als Teil einer Sprachgemeinschaft mit bestimmten fachlichen Konventionen versteht. Im Detail ergeben sich jedoch aufgrund der Einordnung in den Erkenntnisprozess wesentliche Unterschiede, die manche beschriebenen Aspekte irrelevant für das naturwissenschaftliche Beschreiben machen oder für diesen Zweck anderes gedeutet und operationalisiert werden müssen.

Im nachfolgenden Kapitel werden diese Anpassungen ausgeführt, erläutert und schließlich für naturwissenschaftliche Beschreibungen operationalisiert.

4.4 NATURWISSENSCHAFTLICHE BESCHREIBUNG ALS KOMMUNIKATION

Der erste wesentliche Unterschied einer naturwissenschaftlichen Beschreibung im Rahmen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung, die als monologische Kommunikation aufgefasst werden kann, ist die adressierte Person. In diesem Fall gibt es keine direkt adressierte Einzelperson, die in den Planungsprozess der Beschreibung eingebunden werden muss, indem das Interesse oder das Vorwissen berücksichtigt wird. Indirekt gibt es jedoch mehrere adressierte Personen, da die wissenschaftliche Sprachgemeinschaft als Gesamtheit angesprochen wird. Repräsentiert wird diese durch eine Aufgabenstellung, welche den Beschreibungsauftrag erteilt. In diesem Fall kann angenommen werden, dass das nötige Vorwissen zu dem Phänomen vorhanden ist und keine an die adressierte Person notwendige Anpassung, zum Beispiel durch eine Vereinfachung der Sprache, vorgenommen werden muss. Ebenso muss keine Anpassung hinsichtlich des Kontextes vorgenommen werden, um die Beschreibung in ihrer Attraktivität zu steigern. Vielmehr wird im Rahmen naturwissenschaftlicher Beschreibungen die Attraktivität des Kommunikats durch die Beantwortung der Quaestio (Kap. 4.2) geprägt. Die Darstellungsform ist durch die Textsorte *Beschreibung* in der Form „schriftlich“ vorgegeben. Dadurch reduzieren sich die von Kulgemeyer (2010) genannten vier Aspekte zu:

1. Code (Fachsprache)
2. Sachaspekt

Die Dimension *adressatengemäß* beschränkt sich auf die Beantwortung der Quaestio. Die Beantwortung der Quaestio erfolgt durch die Auswahl relevanter Sachaspekte des Phänomens und Interpretation anhand wissenschaftlicher Konzepte sowie die Organisation der beschriebenen Sachaspekte in einer logischen Reihenfolge (Kap. 4.2). Dies hat zur Folge, dass die Dimensionen *sachgerecht* und *adressatengemäß* nicht mehr trennscharf unterschieden werden kann. Daher reduziert sich das von Kulgemeyer beschriebene Modell im Kontext naturwissenschaftlicher Beschreibungen ausschließlich auf eine Betrachtung der *sachgerechten* Gestaltung wie folgt:

- Quaestio identifizieren
- Auswahl relevanter Sachaspekte
- Interpretation durch Verknüpfung von Sachaspekten mit Theorien
- Organisation der Sachaspekte in eine logische argumentative Struktur durch Verknüpfung ein oder mehrerer Sachaspekte miteinander (Linearisierung)

4.5 MERKMALE NATURWISSENSCHAFTLICHER BESCHREIBUNGEN

Der Forschungsstand zu Problembeschreibungen (Kapitel 3.2.4) und die Untersuchung der konzeptionellen Struktur sprachlicher Erklärungen nach Wagner (2017) (Kapitel 3.2.2) deuten darauf hin, dass die Verknüpfung von Phänomenen und Theorien (*theoretischer Bezug*) ein charakteristisches Merkmal naturwissenschaftlicher Beschreibungen ist. Dieses Merkmal variiert je nach Expertise-Grad. Neben der Herstellung einer Verbindung von Theorie und Phänomen ist auch die Darstellungen von Zusammenhängen einzelner Elemente ein Merkmal von Beschreibungen, welche über die *Komplexität* (Kauertz, 2008; Vorholzer & Aufschnaiter, 2020) beschrieben werden kann. Die Untersuchungen von Kohlhauf (2013) zu Beschreibungen bei biologischen Beobachtungen identifiziert das Merkmal *Spezifität* mit der Anzahl genannter Details (Informationen) und spezifischer Details als Indikator unterschiedlicher Beschreibungsniveaus (Kap. 3.1.1).

Zusammenfassend konnten folgende Merkmale einer Beschreibung identifiziert werden (Tabelle 4):

Tabelle 4 Merkmale einer naturwissenschaftlichen Beschreibung

Merkmal	Operationalisierung
Komplexität	Die genannten Sachaspekte sind unverbundene Fakten oder sind zu Zusammenhängen verbunden und stellen einen Sachverhalt dar.
Theoretischer Bezug	Sachaspekte und Sachverhalte sind Teil des Phänomenbereichs oder des Theoriebereichs.
Spezifität	Die Sachaspekte und Sachverhalte werden durch Nennung von Details in Bezug zur Fragestellung differenziert.
Linearisierung	Die Sachaspekte und Sachverhalte sind räumlich oder zeitlich angeordnet.

Eine naturwissenschaftliche Beschreibung in Erkenntnisprozessen unterscheidet sich maßgeblich von einer nicht wissenschaftlichen Beschreibung hinsichtlich der Berücksichtigung von Theorien und der Verwendung von Modellen (*Theoretischer Bezug*). Die *Komplexität* und *Spezifität* können dabei als ein Grad der Vernetzung und Durchdringung dieser Theorien interpretiert werden (Kap. 3.2.1). Um Bezüge zwischen einem Phänomen und einer Theorie herzustellen, benötigt die beschreibende Person Fähigkeiten des Modellierens (Kap.3.2.6). Dieser Zusammenhang wird im nachfolgenden Kapitel erläutert.

4.6 FÄHIGKEITEN NATURWISSENSCHAFTLICHEN BESCHREIBENS

Die Schritte zur Erstellung einer *sachgerechten* Beschreibung zur Beantwortung einer Quaestio entsprechen in Teilen den ersten vier Phasen der Dimension *Entwickeln* der *prozeduralen Modellierungskompetenz* (Kap.3.2.7). In Tabelle 5 sind die einzelnen Schritte einander gegenübergestellt. Phase 1–3 stellen relevante Fähigkeiten bei der Erstellung einer naturwissenschaftlichen Beschreibung dar. Phase 4 und 5 sind Fähigkeiten, welche sich auf die nachfolgenden Schritte des Modellierungsprozesses bzw. der Erkenntnisgewinnung beziehen, wie das Aufstellen und Überprüfen von Hypothesen.

Tabelle 5 Gegenüberstellung Fähigkeiten naturwissenschaftlichen Beschreibens und Modellierkompetenz

Prozedurale Modellierungskompetenz Dimension „Entwickeln“(Digel, 2018)	Naturwissenschaftliches beschreiben
Zweck des Modells festlegen	Quaestio identifizieren
Relevante Informationen und Bedingungen im System identifizieren	Selektion relevanter Sachaspekte
Physikalische Konzepte und (Teil-) Modelle aktivieren und zu einem neuen Modell verbinden	Interpretation durch Verknüpfung von Sachaspekten mit Theorien Organisation der Sachaspekte in eine logische argumentative Struktur durch Verknüpfung ein oder mehrerer Sachaspekte miteinander
Modell in der Situation nutzen, um die Beobachtung zu erklären, bzw. eine Vorhersage zu treffen, dabei die Modelleignung diskutieren	
Modell auf eine andere Situation transferieren, um den Anwendungsbereich und die Grenzen des Modells zu erfassen	

4.7 SCHWIERIGKEITSERZEUGENDE MERKMALE EINER BESCHREIBUNGSSITUATION

Kulgemeyer (2010) identifiziert zwei Möglichkeiten den Schwierigkeitsgrad von Testitems bezüglich der Kommunikationskompetenz zu variieren (Kap.4.3). Hierzu zählen einerseits die *Komplexität* (Kauertz, 2008) und andererseits der *kognitive Beiwert*. Die *Komplexität* hat Kulgemeyer zur Stufung der Kommunikationskompetenz abgelehnt, da sie in erster Linie den Sachinhalt des Kommunikats stufen würde. Da durch die Übertragung des Kommunikationsmodells auf das naturwissenschaftliche Beschreiben eine strikte Trennung von *sachgerecht* und *adressatengemäß* als hinfällig erwiesen hat (Kap.4.4), bleibt letztlich die Sachstruktur der Beschreibung im Fokus der Untersuchung. Dadurch erscheint die *Komplexität* als geeignetes Mittel, die Schwierigkeit von Beschreibungsaufgaben zu variieren. Der von Kulgemeyer definierte *kognitive Beiwert*, der durch die Anzahl der notwendigen kognitiven Schritte bei der Erstellung eines Kommunikats bestimmt werden kann, behält jedoch für das naturwissenschaftliche Beschreiben weiterhin seine Bedeutung, da jeder Schritt der Kommunikationsplanung zwangsläufig durchlaufen werden muss. Diese Prozesse können jedoch dadurch vereinfacht werden, indem die Aufgabenstellung notwendige Informationen für einzelne Schritte bereitstellt. Hierzu zählen unter anderem Angaben, gemäß welcher Prinzipien die Informationen in der naturwissenschaftlichen Beschreibung linearisiert werden sollen (z. B. "Beschreibe die zeitlich aufeinander folgenden Prozesse!"). Löffler (2016) operationalisiert das Vorhandensein von Elementen der *Deep Structure*, welche relevant zur Lösung der Aufgabe sind, in der *Surface Structure* der Problemstellung als *Transparenz* (Kap. 3.2.5). Dabei konnte Löffler einen kleinen Effekt der Transparenz auf die Leistung im Problemlöseprozess feststellen. Auch wenn Löffler keinen Einfluss der *Komplexität* auf die Leistung im Problemlöseprozess feststellen konnte, sollte sie zumindest berücksichtigt und kontrolliert werden, da die *Komplexität* ein Merkmal naturwissenschaftlicher Beschreibungen ist. Dies wird zudem dadurch begründet, dass bei komplexeren Phänomenen potenziell mehr Zusammenhänge identifizierbar sind und somit in der Beschreibung mehr Zusammenhänge formuliert werden können.

5 ZUSAMMENFASSUNG: MODELL DES NATURWISSENSCHAFTLICHEN BESCHREIBENS

Naturwissenschaftliches Beschreiben ist eine Methode, die eine sprachliche Repräsentation einer Situation erzeugt und dient zur Bearbeitung einer naturwissenschaftlichen Frage. Eine naturwissenschaftliche Beschreibung kann als Kommunikation (Abbildung 10) aufgefasst werden, die fachadäquate Konventionen einhält. Sie ist theoriegeleitet, zielgerichtet, systematisch und intersubjektiv prüfbar.

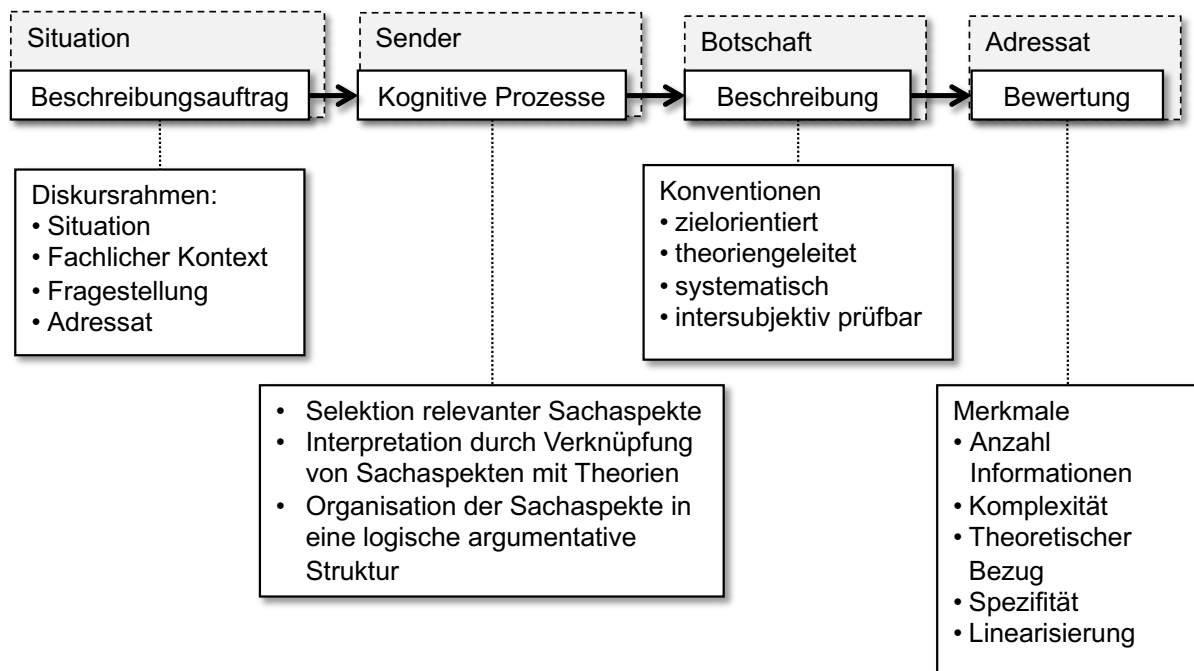


Abbildung 10 Theoretisches Modell des naturwissenschaftlichen Beschreibens

Zur Einhaltung der Konvention muss die beschreibende Person die relevanten Sachaspekte einer Situation gemäß der Frage selektieren, anhand des konzeptionellen Wissens interpretieren, mit Theorien verknüpfen und anschließend in eine logische argumentative Struktur überführen. Hierzu benötigt die beschreibende Person einzelne Fähigkeiten der *prozeduralen Modellierungskompetenz* (Kap.4.6):

- Zweck des Modells festlegen
- relevante Informationen und Bedingungen im System identifizieren
- physikalische Konzepte und (Teil-)Modelle aktivieren und zu einem neuen Modell verbinden

Als Produkt entsteht eine Beschreibung, die anhand der Merkmalsausprägungen *Anzahl an Informationen, Komplexität, Theoretischer Bezug, Spezifität* und *Linearisierung* charakterisiert werden kann (Tabelle 6)

Tabelle 6 Operationalisierung Beschreibungsmerkmale und beobachtbare Kennwerte eine Beschreibung

Merkmal	Operationalisierung	Beobachtbare Kennwerte
Anzahl Informationen	Es werden (relevante) Sachaspekte ausgewählt	Anzahl an (relevanten) Aussagen
Komplexität	Die genannten Sachaspekte sind unverbundene Fakten oder sind zu Zusammenhängen verbunden und stellen einen Sachverhalt dar.	Anzahl an verbundenen und unverbundenen Aussagen (Fakten & Zusammenhänge)
Theoretischer Bezug	Sachaspekte und Sachverhalte sind Teil des Phänomenbereichs oder des Theoriebereichs.	Anzahl an Aussagen auf Modellebene
Spezifität	Die Sachaspekte und Sachverhalte werden durch Nennung von Details in Bezug zur Fragestellung differenziert.	Anzahl spezifischer Aussagen
Linearisierung	Die Sachaspekte und Sachverhalte sind z. B. räumlich oder zeitlich angeordnet.	Inhaltliche Reihenfolge der Aussagen

Basierend auf dem dargelegten theoretischen Hintergrund können folgende Forschungsfragen formuliert werden, die im Rahmen der Studie untersucht werden.

FF1 Wie unterscheiden sich die naturwissenschaftlichen Beschreibungen Lernender unterschiedlicher Expertisen bezüglich der Beschreibungsmerkmale?

FF2 Wie unterscheiden sich die naturwissenschaftlichen Beschreibungen von unterschiedlichen Phänomenen bezüglich der Beschreibungsmerkmale?

TEIL II EMPIRISCHER TEIL

Der empirische Teil der Arbeit beschreibt die Entwicklung und Überprüfung des Analyseverfahrens naturwissenschaftlicher Beschreibungen. Der empirische Teil gliedert sich entsprechend in folgende Abschnitte:

- Darstellung der Forschungsmethoden und des Untersuchungsdesigns (Kap. 6)
- Überlegungen zur Güte des Analyseverfahrens (Kap. 6.4)
- Entwicklung von Beschreibungsaufgaben (Kap. 7)
- Entwicklung und Beschreibung des Analyseverfahrens (Kap. 8)
- Beschreibung der Durchführung der Studie (Kap. 9)
- Beschreibung der Datenanalyse (Kap. 12 & Kap. 13)
- Interpretation und Diskussion der Ergebnisse (Kap. 14).

6 FORSCHUNGSMETHODE UND DESIGN

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurde zunächst auf Basis des theoretischen Hintergrunds ein Messmodell abgeleitet, das die Grundlage für die Entwicklung des Untersuchungsdesigns darstellt. In diesem Kapitel werden das Messmodell und das daraus abgeleitete Forschungsdesign erörtert.

6.1 MESSMODELL NATURWISSENSCHAFTLICHER BESCHREIBUNGEN

Ziel der Forschungsarbeit ist es, anhand des theoretischen Modells ein Analyseverfahren zur Untersuchung naturwissenschaftlicher Beschreibungen zu entwickeln. Die Eignung des Analyseverfahrens wird daran gemessen, ob die identifizierten Merkmale einer Beschreibung Unterschiede in den Beschreibungen unterschiedlicher Personen und Phänomene auflösen kann. Anhand des theoretischen Hintergrunds können Annahmen über mögliche Zusammenhänge zwischen Personenmerkmalen, Aufgabenmerkmalen und Beschreibungsmerkmalen abgeleitet werden. Eine Untersuchung dieser theoretisch angenommenen Zusammenhänge dient als internes Validitätskriterium (Kriteriumsvalidität nach Hartig et al. (2012)) zur Bestimmung der Güte des Analyseverfahrens. Das bedeutet, können die zuvor angenommenen Zusammenhänge aufgezeigt werden, dann liefert dies einen Hinweis auf die Validität des Analyseverfahrens. Abbildung 11 fasst die angenommenen Zusammenhänge zwischen Personen-, Aufgaben- und Beschreibungsmerkmalen in einem Messmodell zur Erfassung der Validität des Analyseverfahrens zusammen.

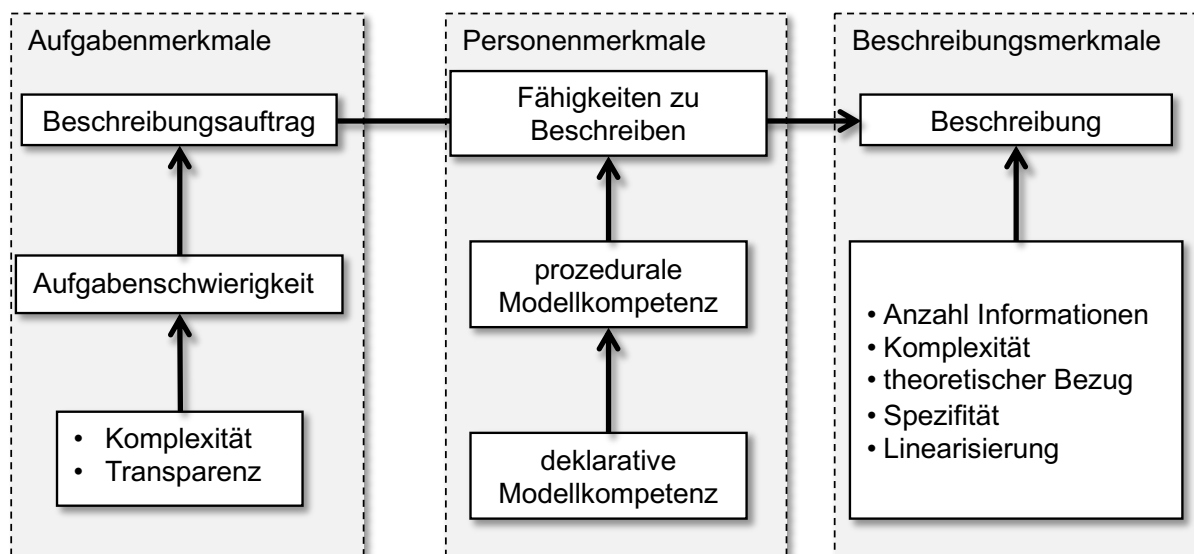


Abbildung 11 Messmodell naturwissenschaftliches Beschreiben

Es wird angenommen, dass die Beschreibungsmerkmale – *Anzahl der Informationen, Komplexität, Theoretischer Bezug, Spezifität und Linearisierung* – von den Fähigkeiten der beschreibenden Person beeinflusst werden. Bisher existiert kein Kompetenzmodell, das die Fähigkeiten zu beschreiben erfasst. Es wurde jedoch aufgezeigt, dass zur Erstellung einer naturwissenschaftlichen Beschreibung Fähigkeiten des Modellierens erforderlich sind, insbesondere solche der *prozeduralen Modellkompetenz* (Kap. 4.6). Digel (2018) konnte im Rahmen ihrer Untersuchungen zur Modellierungskompetenz feststellen, dass die *deklarative Modellkompetenz* mittel bis stark signifikant mit der *prozeduralen Modellkompetenz* korrelieren. Aus Gründen der Testökonomie wird die *deklarative Modellkompetenz* als Prädiktor für die Beschreibungsfähigkeiten und Zuweisung eines Expertise-Niveaus herangezogen. Auf diese Weise können Beschreibungen von Personen mit unterschiedlichen Expertise-Niveaus hinsichtlich der Beschreibungsmerkmale verglichen werden.

Neben den Personenfähigkeiten können Aufgabenmerkmale einen Einfluss auf die Beschreibungsmerkmale haben. Die *Aufgabenkomplexität* und die *Transparenz* konnten als schwierigkeiterzeugende Merkmale identifiziert werden (Kap. 4.7).

Unter Rückbezug zum theoretischen Hintergrund werden nachfolgende Zusammenhänge zwischen Personen-, Aufgaben- und Beschreibungsmerkmalen vermutet.

Beschreibungen von Lernenden mit *hoher deklarativer Modellkompetenz* unterscheiden sich von Beschreibungen von Lernenden mit *niedriger deklarativen Modellkompetenz*, indem sie ...

- ... eine höhere Anzahl an Aussagen auf der Modellebene beinhalten und damit einen höheren *theoretischen Bezug* aufweisen (Kap. 3.2.4 und Kap. 3.2.5).
- ... eine höhere Anzahl an *spezifischen Aussagen* enthalten (Kap. 3.1.1).
- ... eine höhere Anzahl an Zusammenhängen enthalten und damit eine höhere *Komplexität* aufweisen (Kap. 4.5).
- ... eine hohe einheitliche *Linearisierung* aufweisen und damit einer logischen argumentativen Struktur folgen (Kap. 4.5).
- ... keine größeren Unterschiede bei Situationen mit *höherer Komplexität* und *Transparenz* aufweisen, wohingegen Unterschiede bei Lernenden mit *niedriger deklarativer Modellkompetenz* erwartet werden (Kap. 4.7).

6.2 AUSWAHL DER STICHPROBE

Das entwickelte theoretische Modell für naturwissenschaftliche Beschreibungen basiert einerseits auf normativen Kompetenzbeschreibungen (Kap. 2.1.), die auf die Kompetenzerwartungen ausgerichtet sind, die Lernende bis zum Erhalt des mittleren Schulabschlusses oder der allgemeinen Hochschulreife erfüllen sollen. Andererseits wurden auch Studien herangezogen, die sowohl Lernende des Sekundarbereichs als auch Studierende beim Umgang mit Modellen in Problemlöseprozessen untersucht haben (Kap. 3.2). Daher sollte das Modell dazu geeignet sein, naturwissenschaftliche Beschreibungen von Lernenden verschiedener Bildungsstufen beschreiben zu können. Die Untersuchung mehrerer Bildungsstufen ist jedoch für den Rahmen der Arbeit zu umfangreich. Daher werden in dieser Studie Lernende einer Bildungsstufe ausgewählt. Im Hinblick auf die Anschlussfähigkeit zu den Bildungsstandards sind dabei insbesondere Lernende der unteren (Sekundarstufe I) als auch der oberen Bildungsstufen (Ende Sekundarstufe II und Hochschule) von Interesse. Bei Lernenden der höheren Bildungsstufen haben die sprachlichen Fähigkeiten einen geringeren Einfluss auf die Untersuchungsergebnisse (Kap. 3.1.1), wodurch das Untersuchungsdesign vereinfacht wird. Daher wurden für die Untersuchungen Lehramtsstudierende der ersten Studiensemester ausgewählt. Diese Auswahl bietet den weiteren Vorteil, dass sie erste Hinweise über den Fähigkeitsstand von Lernenden nach Erhalt der allgemeinen Hochschulreife liefern.

6.3 FORSCHUNGSDESIGN

Gemäß der Auswahl der Stichprobe und der messtheoretischen Überlegungen können die Forschungsfragen wie folgt spezifiziert werden:

- FF1 Wie unterscheiden sich die naturwissenschaftlichen Beschreibungen Studierender mit unterschiedlicher *deklarativer Modellkompetenz* bezüglich der Beschreibungsmerkmale?
- FF2 Wie unterscheiden sich die naturwissenschaftlichen Beschreibungen von unterschiedlichen Phänomenen bezüglich der Beschreibungsmerkmale?
- FF2.1 Wie unterscheiden sich die Beschreibungsmerkmale bei ‘hoch‘ und ‘niedrig‘ *transparenten* Aufgaben?
- FF2.2 Wie unterscheiden sich die Beschreibungsmerkmale bei ‘hoch‘ und ‘niedrig‘ *komplexen* Aufgaben?

Zur Beantwortung der Forschungsfragen werden sowohl qualitative (Beschreibungen der Studierenden) als auch quantitative Daten (Fragebogen: *deklarative Modellkompetenz*) erhoben. Die Analyse der naturwissenschaftlichen Beschreibungen erfolgt aufgrund der Nähe zum Forschungsgegenstand anhand qualitativer Daten.

Das Analyseverfahren basiert auf den im theoretischen Hintergrund beschriebenen Beschreibungsmerkmalen. Gemäß der qualitativ strukturierenden Inhaltsanalyse nach Mayring (2022) wird ein deduktives Kategoriensystem entwickelt. Mithilfe des Kategoriensystems können die Merkmale innerhalb der naturwissenschaftlichen Beschreibungen identifiziert und hinsichtlich ihrer Merkmalsausprägungen quantifiziert werden. Durch die Verwendung eines deduktiven Kategoriensystems kann eine direkte Verbindung zwischen dem theoretischen Rahmen und der empirischen Daten hergestellt werden. Das Vorgehen ermöglicht eine intersubjektiv nachvollziehbare, theoriebasierte, systematische und regelgeleitete Auswertung der Daten mittels Kodiermanual. Ferner können anhand der quantifizierten Daten durch inferenzstatistische Verfahren Zusammenhänge zwischen Personen-, Aufgaben- und Beschreibungsmerkmale untersucht werden. Anhand der empirischen Ergebnisse werden Hypothesen abgeleitet, die in zukünftigen Forschungsvorhaben überprüft werden können. Dabei können auf der Grundlage der quantitativen Analysen der vorliegenden Arbeit bereits Hinweise auf die Stärke der Zusammenhänge gewonnen werden, die für die Planung von

Studien zur Hypothesenüberprüfung im Hinblick auf die Stichprobengröße und notwendige Teststärke bedeutend sind. In Abbildung 12 ist das Forschungsdesign zusammenfassend dargestellt.

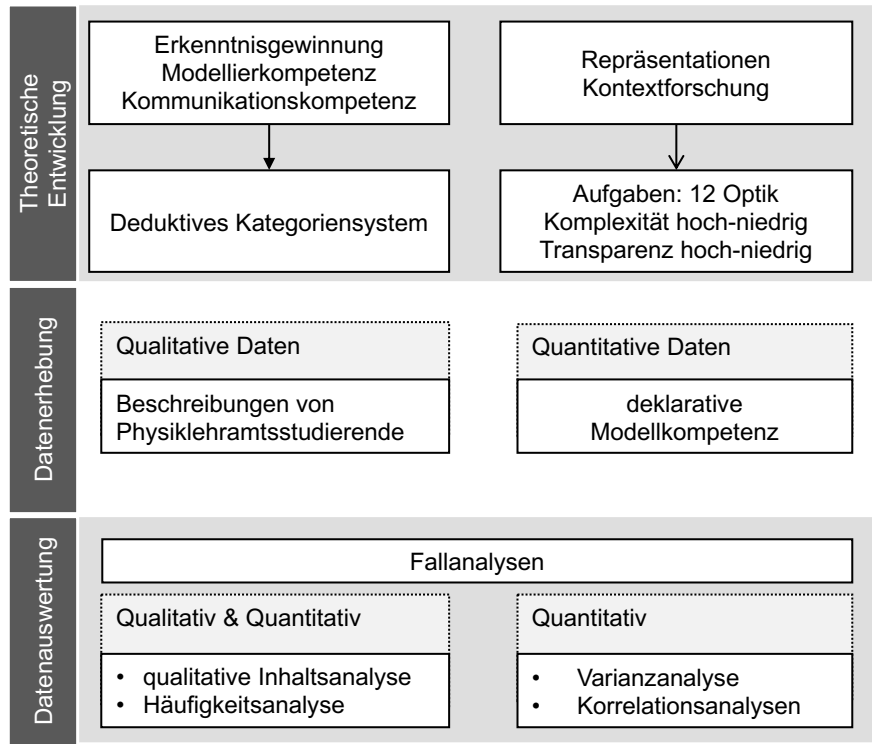


Abbildung 12 Forschungsdesign

6.4 GÜTEKRITERIEN

Tabelle 7 beinhaltet einen Überblick über die zugrunde gelegten Gütekriterien der empirischen Untersuchung und die durchgeführten Maßnahmen zur Berücksichtigung dieser Gütekriterien. Sie adressieren die Reliabilität, Objektivität und Validität der verwendeten Instrumente. Weitere Gütekriterien und Maßnahmen, die keine Berücksichtigung gefunden haben, werden im Diskussionsteil der Arbeit kritisch diskutiert.

Tabelle 7 Gütekriterien der Studie (Hartig et al., 2012; Mayring, 2022; Trump, 2015)

	Gütekriterien	Maßnahmen	Kapitel
Objektivität	Durchführungsobjektivität	Darlegung des Ablaufs der Datenerhebung	9
	Auswertungsobjektivität	Kodiermanual und Darlegung des	8
	Interpretationsobjektivität	Vorgehens und der Entwicklung des Analyseverfahrens	
Reliabilität	Inter-Rater-Übereinstimmung	Doppelkodierung von 22 % des Datenmaterials; Bestimmung von Kappa (Brennan & Prediger, 1981)	8.5
Validität	Inhaltsvalidität	Theoriebasierte Entwicklung des Kodiermanuals Nähe zum Untersuchungsgegenstand	8
	Kriteriumsvalidität:	Korrelationsanalysen anderer Konstrukte (deklarative Modellkompetenz)	12

7 AUFGABENENTWICKLUNG

Im Theorieteil der vorliegenden Arbeit konnte durch die Modellierung naturwissenschaftlicher Beschreibungen von Phänomenen als Kommunikationsprozess relevante Aufgabenmerkmale zur Analyse von naturwissenschaftlichen Beschreibungen identifiziert werden (Kap. 5). Demnach ist das Phänomen eingebettet in einen Diskursrahmen, welcher eine Abbildung des Phänomens, einen Beschreibungsauftrag mit dem Zweck der Beschreibung und eine naturwissenschaftliche Fragestellung (Quaestio siehe Kap. 4.4), welche durch die Beschreibung beantwortet werden soll, enthält (Abbildung 13). Der Beschreibungsauftrag ist für alle Phänomene gleich, lediglich die Fragestellungen unterscheiden sich.

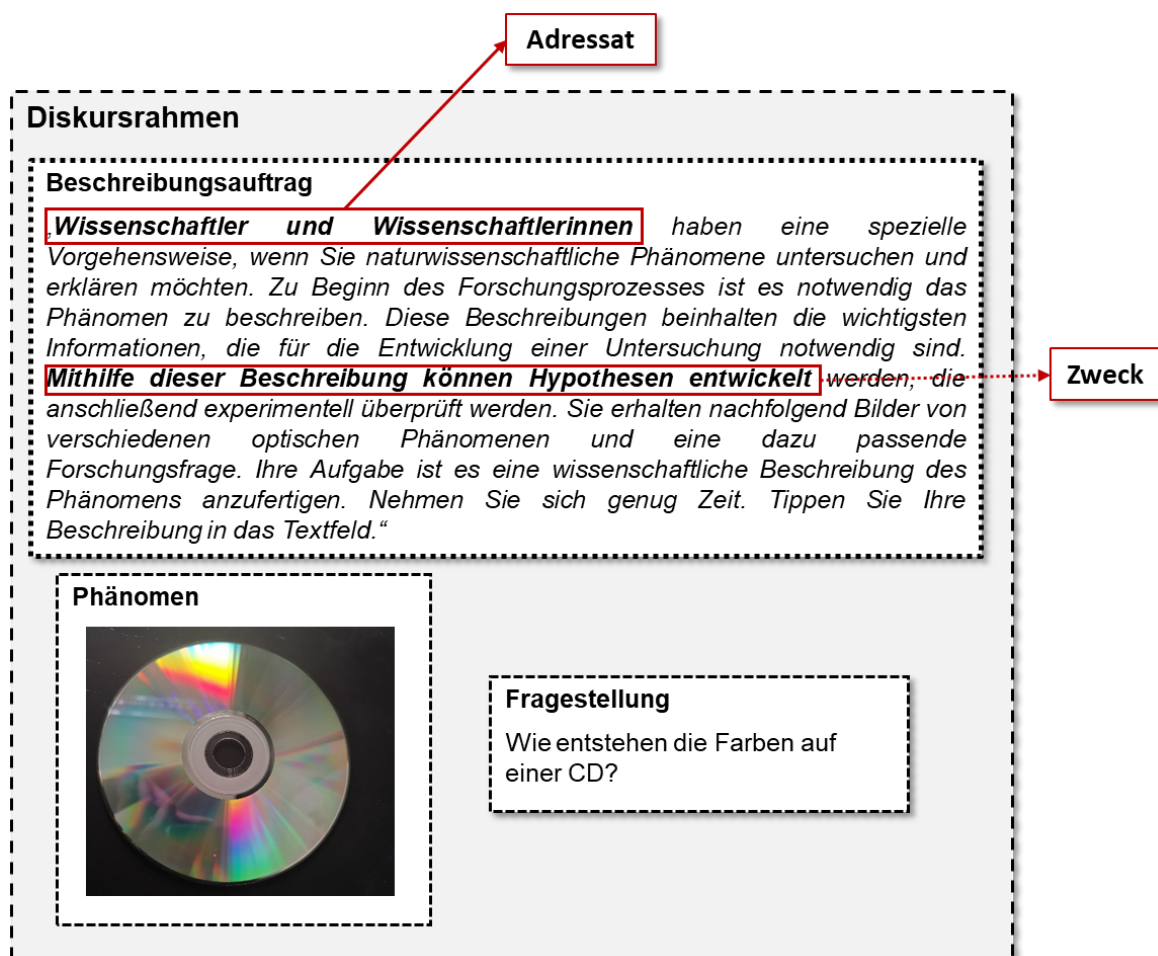


Abbildung 13 Diskursrahmen Beschreibungsaufgaben (eigene Darstellung)

7.1 AUSWAHL DER PHÄNOMENE

Zur Analyse naturwissenschaftlicher Beschreibungen werden Phänomene aus dem Themenbereich Optik gewählt, da sie vorwiegend visuell wahrgenommen und durch Fotos dargestellt werden können. Dies ist bei Phänomenen der Mechanik, Thermodynamik und Elektrodynamik selten der Fall, da sie häufig durch die zeitliche Änderung physikalischer Größen gekennzeichnet sind und dadurch nicht durch ein einzelnes Foto dargestellt werden können. In diesen Themenbereichen müssen die Phänomene auf andere Art beobachtbar gemacht werden, zum Beispiel durch Videografien, schematische Skizzen oder Animationen. Dadurch müssten bei der Erstellung der Items weitere Einflussfaktoren aufgrund verschiedener Repräsentationsformen berücksichtigt werden, wodurch die Komplexität der Aufgabenkonstruktion und des Untersuchungsdesigns ansteigen würde.

Optische Phänomene haben einen direkten Bezug zur Lebenswelt und können gleichermaßen anhand von Alltagserfahrungen, als auch anhand des konzeptionellen Vorwissens beschrieben werden. Sie bieten für die hier beschriebene Untersuchung den Vorteil, dass die Ursache eines Phänomens nicht sichtbar ist, jedoch durch die Nutzung von Modellen und der Beschreibung von Wechselwirkungsprozessen von Licht und Materie rekonstruiert werden kann. Außerdem gibt es bei optischen Phänomenen die Möglichkeit, verschiedene Wechselwirkungsprozesse in experimenteller Form nachzustellen und so die *Transparenz* der Beschreibungssituation zu erhöhen, indem etwa der Lichtweg sichtbar gemacht wird. Zu den Wechselwirkungen von Licht und Materie gehören Brechung, Reflexion, Beugung und Streuung. Des Weiteren gibt es im Themenbereich Optik Phänomene wie Farberscheinungen, die sich in ihrer Wirkung visuell ähneln, jedoch auf unterschiedliche Wechselwirkungsprozesse zurückzuführen sind. Unter der Annahme, dass Studierende mit geringeren Beschreibungsfähigkeiten vorwiegend der Oberflächenstruktur beschreiben und weniger Konzepte verwenden, um die Tiefenstruktur zu beschreiben (Kap. 3.2.4), wird vermutet, dass die Studierenden das Phänomen auf falsche Wechselwirkungen zurückführen werden.

Die Auswahl der optischen Phänomene erfolgte anhand folgender Kriterien:

- Visuelle Ähnlichkeit der Wirkung (z. B. Farberscheinung), aber unterschiedliche Wechselwirkung
- Das Vorhandensein der Option, das Phänomen mit *hoher Transparenz* nachzustellen

7.2 FACHLICHER HINTERGRUND OPTISCHER PHÄNOMENE

Optische Phänomene entstehen durch Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie. Die *Komplexität* dieser Phänomene ist abhängig von der Anzahl und der Art der Wechselwirkungen sowie der damit verbundenen Zusammenhänge. Im Folgenden wird der fachliche Hintergrund in didaktisch reduzierter Form dargestellt, da er die Grundlage für das Verfahren zur Bestimmung der *Komplexität* optischer Phänomene darstellt.

Es gibt unterschiedliche Modelle, mit denen die Wechselwirkungen beschrieben werden können. Die drei etabliertesten Modelle im schulischen und hochschulischen Kontext sind das *Strahlenmodell*, das *Wellenmodell* und das *Photonenmodell*. Jedes dieser Modelle weist Grenzen auf und die Eignung des Modells hängt von dem zu beschreibenden Phänomen ab. Da im Rahmen dieser Arbeit Phänomene ausgewählt wurden, die sich vorwiegend mithilfe des Wellen- und Strahlenmodells beschreiben lassen, wird auf eine Erläuterung des Photonenmodells verzichtet.

7.2.1 DAS WELLENMODELL DES LICHTS

Licht kann als elektromagnetische Welle interpretiert werden, die sich als Transversalwelle im Raum ausbreitet (Abbildung 14). Die elektrische und magnetische Feldstärke verändert sich mit der Zeit periodisch und räumlich. Im Fernfeld gilt die Beziehung, dass die elektrische Feldstärke maximal ist, wenn die magnetische Feldstärke minimal ist (Tipler & Mosca, 2007).

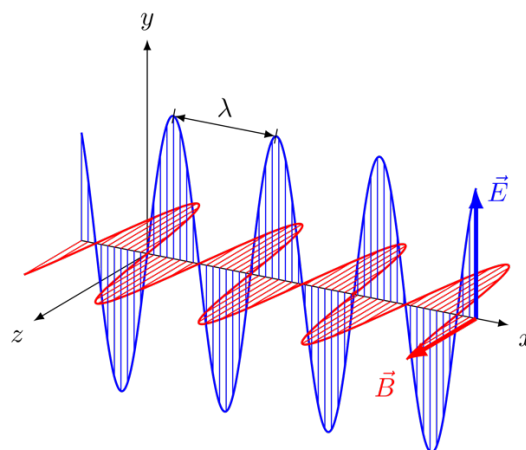


Abbildung 14 Elektromagnetische Welle. (Quelle: schwunkel/Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0)⁷

⁷ Die Abbildung unterliegt der „CC-BY-SA 4.0 Lizenz“ und ist von der gewählten Lizenz für die Dissertation ausgenommen.

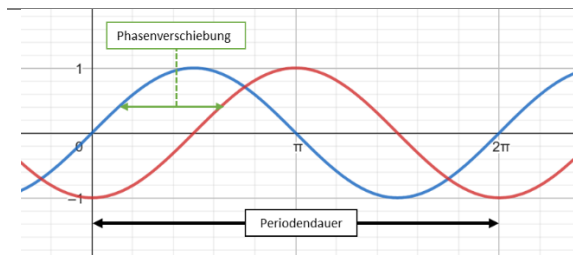
Die Eigenschaften von Licht können durch die in Tabelle 8 dargestellten Attribute charakterisiert werden.

Tabelle 8 Eigenschaften von Licht (vgl. Tipler & Mosca, 2007)

Eigenschaft	Beschreibung
Frequenz	Die Frequenz ν gibt die Anzahl der Schwingungsperioden pro Zeiteinheit an. Bei den ausgewählten Phänomenen ändert sich die Frequenz bei der Wechselwirkung mit Materie nicht.
Wellenlänge	Die Wellenlänge λ beschreibt den Abstand zweier benachbarter Wellenberge. Licht besteht aus verschiedenen Farben. Wellenlängen können Farben zugeordnet werden. Das sichtbare Farbspektrum befindet sich im Bereich von $\lambda = 400 \text{ nm (blau)} - \lambda = 700 \text{ nm (rot)}$. Die Wellenlänge ist keine Konstante, sondern hängt von der Frequenz und der Ausbreitungsgeschwindigkeit ab ⁸ .
Ausbreitungsgeschwindigkeit	Die Ausbreitungsgeschwindigkeit gibt an, welchen Weg ein Wellenberg pro Zeiteinheit zurücklegt. Die Lichtgeschwindigkeit c im Vakuum ist eine Konstante. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Licht in einem Medium weicht von der Lichtgeschwindigkeit ab.
Schwingungsrichtung	Der elektrische Feldvektor schwingt senkrecht zur Ausbreitungsrichtung. Hier ist jede Stellung senkrecht zur Ausbreitungsrichtung möglich. Besitzt die elektromagnetische Welle eine ausgezeichnete Schwingungsrichtung, dann handelt es sich um linear polarisiertes Licht ⁹ . Abbildung 14 zeigt eine linear polarisierte Welle.
Ausbreitungsrichtung	In Abbildung 14 breitet sich die Welle entlang der z-Achse aus.
Phase/Phasenverschiebung	Die Phase gibt an, in welchem Abschnitt einer Periode sich die Welle befindet und bestimmt die Auslenkung einer Welle in Bezug zu einem

⁸ Daher ist es sinnvoller Farben den Frequenzen zu zuordnen. In schulischen Kontexten und Lehrbüchern, wird das Farbspektrum jedoch vorwiegend über die Wellenlängen angegeben.

⁹ Es gibt auch andere Polarisationsformen, wie zirkular oder elliptisch.



Referenzzeitpunkt und Referenzort (siehe Abbildung 15)

Abbildung 15 Phasenverschiebung einer Welle
(Quelle: eigene Darstellung)

Materie besitzt optische Eigenschaften, welche die Wechselwirkungen mit Licht bedingt. Diese Eigenschaften werden in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9 Optische Eigenschaften von Materie (vgl. Tipler & Mosca, 2007)

Eigenschaft	Beschreibung
Transmissionsgrad	Der Transmissionsgrad gibt an, wie viel Licht in das Medium eindringt.
Reflexionsgrad	Der Reflexionsgrad gibt an, wieviel Licht an der Grenzfläche des Mediums reflektiert wird und nicht in das Medium eindringt.
Absorption/Emissionsgrad	Der Absorptionsgrad gibt an, wie viel Energie des Lichts von dem Medium aufgenommen wird. Der Emissionsgrad gibt an, wie viel der Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung abgegeben wird.
Optische Dichte	Die optische Dichte ist ein Maß für die Transmission von Licht durch ein Medium. Sie hängt mit den Absorptionseigenschaften eines Mediums zusammen.
Strukturgröße	Ein Medium kann strukturelle Eigenschaften aufweisen, indem im Medium unter anderem Partikel enthalten sind oder das Medium eine bestimmte Struktur, zum Beispiel ein Gitter besitzt. Dabei spielen die Größe der Partikel und der Gitteröffnungen eine Rolle.
Strukturgeometrie	Die Strukturgeometrie beschreibt etwa eine Oberflächenkrümmung oder eine Gitterstruktur.

Bei der Wechselwirkung von Licht mit Materie ändern sich Eigenschaften von Licht aufgrund der optischen Eigenschaften von Materie. Die Wechselwirkung findet an der Grenzfläche zweier Medien mit unterschiedlichen optischen Eigenschaften statt. Ob Licht in das Medium eindringt, hängt primär von den Absorptions-, Reflexions- und Transmissionseigenschaften des Mediums ab (Tipler & Mosca, 2007). Je nach Ausprägung der Eigenschaften können Absorption, Reflexion und Transmission gleichzeitig auftreten. Das heißt, ein Teil des Lichts

wird an der Grenzfläche reflektiert, ein anderer Teil dringt in das Medium ein und ein Teil der Energie des transmittierten Lichts wird vom Medium absorbiert.

Tabelle 10 gibt einen Überblick über die für die Auswahl der Aufgaben relevanten Wechselwirkungen und erläutert diese.

Tabelle 10 Wechselwirkung von Licht mit Materie (vgl. Tipler & Mosca, 2007)

Wechselwirkung Licht mit Materie	Erläuterung
Reflexion	Besitzt das Medium einen Reflexionsgrad größer null, dann wird das Licht oder ein Teil des Lichts an der Grenzfläche des Mediums gerichtet reflektiert, das heißt, das Licht ändert seine Ausbreitungsrichtung gemäß dem Reflexionsgesetz: Der Ausfallswinkel entspricht dem Einfallswinkel. An der Grenzfläche von einem optisch dünneren zu einem optisch dichteren Stoff kommt es zu einem Phasensprung , das heißt, der einlaufende und der reflektierte Wellenzug besitzen eine Phasenverschiebung.
Brechung	Besitzt das Medium einen Transmissionsgrad größer null, dann dringt Licht in das Medium ein. Beim Übergang von einem optisch dichteren zu einem optisch dünneren Medium vergrößert sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Frequenz . Die Wellenlänge verkürzt sich. Dadurch verändert sich die Ausbreitungsrichtung . Das Licht wird zum Lot hin gebrochen. Beim Übergang von einem optisch dünneren in ein optisch dichteres Medium verkleinert sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Frequenz und die Wellenlänge vergrößert sich. Dadurch verändert sich die Ausbreitungsrichtung. Das Licht wird vom Lot weggebrochen. Wird der Grenzwinkel der Totalreflexion erreicht, dringt das Licht nicht mehr in das andere Medium ein, sondern wird gemäß dem Reflexionsgesetz an der Grenzfläche reflektiert. Die Brechung ist frequenzabhängig (Dispersion). Licht höherer Frequenz wird stärker

	gebrochen als Licht niedriger Frequenz. Licht, das senkrecht auf eine Grenzfläche trifft, wird nicht gebrochen.
Streuung	Trifft Licht auf Partikel, deren Durchmesser klein im Vergleich der Wellenlänge sind (z. B. Moleküle der Atmosphäre), ändert das Licht seine Ausbreitungsrichtung in Abhängigkeit der Frequenz . Licht mit höherer Frequenz wird stärker gestreut als Licht niedriger Frequenz.
Beugung	Trifft Licht auf ein Hindernis, dann dringt das Licht in den Schattenraum des Hindernisses ein. Dadurch ändert das Licht seine Ausbreitungsrichtung .

Wenn zwei elektromagnetische Wellen miteinander wechselwirken, bezeichnet man dies als Interferenz (Tipler & Mosca, 2007). Besitzen zwei Wellenzüge die gleiche Wellenlänge, die gleiche Schwingungsrichtung, die gleiche Ausbreitungsrichtung und Geschwindigkeit, dann haben die beiden Wellenzüge eine feste Phasenbeziehung und sind kohärent (ebd.). Dies stellt eine notwendige Bedingung zur Auslöschung von Wellenzügen dar.

7.2.2 DAS STRAHLENMODELL

Das Strahlenmodell des Lichts stellt eine Vereinfachung des Wellenmodells dar, indem es die Eigenschaften einer Lichtwelle auf die Ausbreitungsrichtung reduziert. Mit dem Strahlenmodell können die Brechung und die Reflexion beschrieben werden, sofern die Frequenz bei der Ursache des Phänomens keinen Einfluss hat.

7.3 BESTIMMUNG DER KOMPLEXITÄT

Die *Komplexität* der Beschreibungssituation wird in Anlehnung an Löffler (2016) bestimmt, indem die Lösungsstruktur der Beschreibungssituation bestimmt wird. Diese beinhaltet, die relevanten Wechselwirkungen des Lichts mit Materie, die auf dem Weg von der Lichtquelle zur Kamera stattfinden. Dabei werden nur Wechselwirkungen berücksichtigt, die zur Beantwortung der Forschungsfrage (Quaestio) relevant sind. Zur Bestimmung der *Komplexität* wird an jeder Grenzfläche geprüft, ob eine Wechselwirkung stattfindet, die für das Phänomen relevant ist. Es werden die Anzahl der Zusammenhänge zwischen Eigenschaften der Materie und Licht identifiziert. Bei allen Phänomenen gibt es einen Ursprung des Lichts (Lichtquelle) und schließlich die Abbildung durch eine Kamera. Diese Prozesse treten bei allen Phänomenen auf und werden deswegen bei der *Komplexität* nicht berücksichtigt, um nicht die Inferenz der

Bestimmung zu erhöhen (siehe Beispiel Abendrot).¹⁰ In Tabelle 11 ist eine schematische Auflistung der auftretenden Wechselwirkungen ausgewählter Beispiele aufgeführt. Sie enthält die Eigenschaften der Materie, Eigenschaften von Licht und ihre Wechselwirkungen, die durch die Änderung der Eigenschaften von Licht oder Materie gekennzeichnet sind.

Beispiel Luftspiegelung: Die Luftschicht über der Straße absorbiert Energie des Lichts in Form von Wärme (Temperaturänderung), dadurch verringert sich ihre optische Dichte im Vergleich zu darüber liegenden Luftschichten (Änderung optische Dichte). Aufgrund der unterschiedlichen optischen Dichten der Luftschichten (Eigenschaft Materie), wird das Licht ab einem bestimmten Winkel (winkelabhängig) totalreflektiert.

Beispiel Abendrot: Aufgrund der Größe der Moleküle in der Atmosphäre, die relativ klein im Vergleich zur Wellenlänge des Lichts sind (Eigenschaft Materie), wird das Licht in Abhängigkeit der Frequenz (Frequenzabhängigkeit) des Lichts gestreut (Richtungsänderung). Blaues Licht mit höherer Frequenz wird stärker gestreut als rotes Licht mit niedriger Frequenz (Frequenzabhängigkeit). Dadurch verringert sich der blaue Anteil des Lichts und es überwiegt der rote Anteil des Lichts, das zum Auge des Betrachters gelangt (Abbildung Kamera, irrelevant).

Tabelle 11 Schema Wechselwirkung zur Bestimmung Komplexität

Phänomen	Eigenschaften Materie	Wechselwirkung	Eigenschaften Licht
Luftspiegelung auf Straße	Grenzfläche kalte Luft/warme Luft		
	Absorptionsgrad	Absorption	
		Temperaturänderung Luft	Intensität
		Änderung optische Dichte	
	Optische Dichte	Totalreflexion	
	dünn/dicht	Richtungsänderung	winkelabhängig
	2 Zusammenhänge +1 Zusammenhang		
Abendrot	Oberfläche Moleküle		
	Strukturgeometrie	Streuung	
	Partikelgröße	Richtungsänderung	frequenzabhängig
	1 Zusammenhang		
Farbentstehung Regenbogen	1. Grenzfläche Luft/Wasser		

¹⁰ Die Inferenz erhöht sich insofern, dass die Beschreibung der Lichtquelle und die Abbildung durch die Kamera auf verschiedene sprachliche Varianten ausgedrückt werden kann.

	Optische Dichte dünn/dicht	Brechung Geschwindigkeitsänderung Richtungsänderung	frequenzabhängig
	2. Grenzfläche Wasser/Luft		
	Strukturgeometrie glatte gekrümmte Ober- fläche	Reflexion Richtungsänderung	winkelabhängig
	3. Grenzfläche Wasser/Luft		
	Optische Dichte dicht/dünn	Brechung Geschwindigkeitsänderung Richtungsänderung	frequenzabhängig
2 Zusammenhänge + 1 Zusammenhang+ 2 Zusammenhänge			

Die Komplexität wird wie folgt dichotomisiert (Löffler, 2016):

- niedrig (n-Fakten und 1 Zusammenhang)
- hoch (n-Fakten und mindestens 2 Zusammenhänge)

7.4 BESTIMMUNG TRANSPARENZ

Löffler (2016) unterscheidet zwischen Aufgaben, in denen vorwiegend relevante Informationen der Lösungsstruktur im Aufgabentext enthalten sind (*hohe Transparenz*), und Aufgaben, in denen sowohl irrelevante als auch keine Bezüge zur Lösungsstruktur vorhanden sind (*niedrige Transparenz*). Im Rahmen dieser Arbeit wird das Vorgehen adaptiert, indem Phänomene in einem informationsreduzierten Kontext nachgestellt werden und dadurch die *Transparenz* gesteigert wird. In dieser Darstellung sind der Lichtweg, die Grenzflächen, die Änderung einer Lichteigenschaft sichtbar. Nach Kulgemeyer (2010) reduziert sich dadurch die Schwierigkeit der kommunikativen Planung (Kap. 4.3), da die relevanten Sachaspekte und Zusammenhänge sichtbar sind.

7.5 AUSWAHL DER OPTISCHEN PHÄNOMENE

Für die Erstellung des Testinstruments wurden 12 Phänomene ausgewählt. Die Phänomene unterscheiden sich hinsichtlich der *Komplexität* und der *Transparenz* (Tabelle 12).

Tabelle 12 Anzahl der Aufgaben Komplexität vs. Transparenz

Komplexität \ Transparenz	niedrig	hoch
niedrig	5	2
hoch	4	1

Zu jedem Phänomen erhalten die Studierenden eine Forschungsfrage (Quaestio Kap. 4.2), die den Fokus auf die zu beschreibenden Wechselwirkungen vorgeben (Tabelle 13).

Es wurden Phänomene ausgewählt, die sich in ihrer Erscheinung visuell ähneln, jedoch unterschiedliche Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie als Ursache haben. Zum Beispiel zeigen die Situationen O1, O3, O7, O9 Farberscheinungen, die entweder auf die frequenzabhängige Brechung von Licht oder durch Interferenz an dünnen Schichten oder am optischen Gitter zurückzuführen sind. Bei den Phänomenen zur Interferenz können keine *hochtransparenten* Darstellungen erzeugt werden, da der Lichtweg bei diesen Phänomenen nicht dargestellt werden kann. Dadurch ergibt sich eine ungleiche Anzahl an Aufgaben hinsichtlich der *Komplexität* und *Transparenz*.

Tabelle 13 Übersicht der Beschreibungssituationen und Merkmale

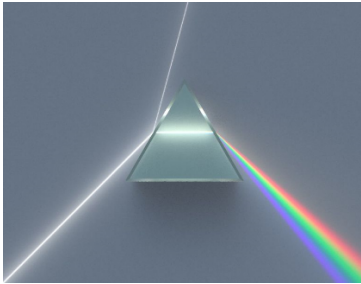
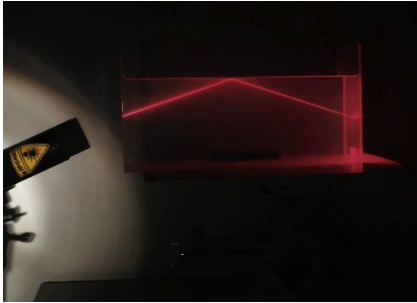
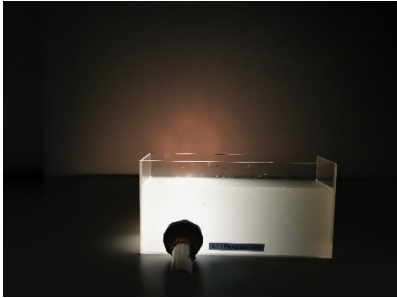
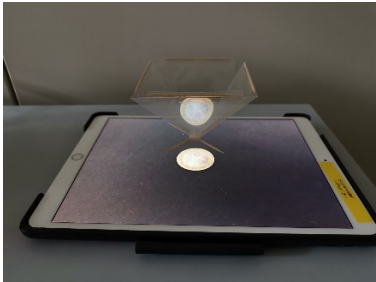
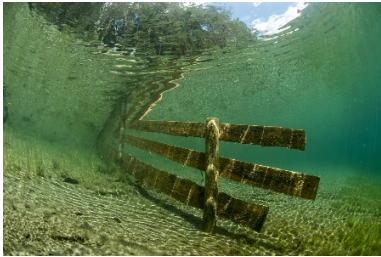
Item	Fragestellung	Transparenz	Komplexität
01	Wie entstehen die Farben bei einem Regenbogen? Siehe elektronischer Anhang Liste optische Phänomene	niedrig	hoch 5 Zusammenhänge
02	Wie entsteht die Abbildung der Münze an der Rückwand des mit Wasser gefüllten Glasgefäßes? 	niedrig	niedrig 1 Zusammenhang
03	Wie entsteht die Farbaufspaltung des Lichtstrahls nach dem Passieren des Glasprismas? 	hoch	hoch 4 Zusammenhänge

Abbildung 16 Totalreflexion (Eigene Abbildung)

Abbildung 17 Dispersive Prism Illustration (Quelle: Spigget/ Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0)¹¹

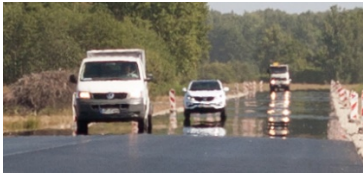
¹¹ Die Abbildung unterliegt der „CC-BY-SA 3.0 Lizenz“ und ist von der gewählten Lizenz für die Dissertation ausgenommen.

Item	Fragestellung	Transparenz	Komplexität
O4	Wie entsteht die Richtungsänderung des Laserstrahls in dem Wasser befüllten Glasbehälter?	hoch	niedrig 1 Zusammenhänge
			
Abbildung 18 Totalreflexion Laser (Eigene Abbildung)			
O5	Wie entsteht die rötliche Färbung des Lichtes nach dem Passieren des Gefäßes mit einer trüben Flüssigkeit?	hoch	niedrig 1 Zusammenhang
			
Abbildung 19 Streuung an Dispersionsemulsion (Eigene Abbildung)			
O6	Wieso sieht es so aus, als sei eine Münze innerhalb der hohlen Plastikpyramide?	niedrig	niedrig 1 Zusammenhang
			
Abbildung 20 Virtuelles Bild einer Münze (Eigene Abbildung)			

Item	Fragestellung	Transparenz	Komplexität
O7	Wie entstehen die Farben in einem Ölfilm auf einer Pfütze?	niedrig	hoch 9 Zusammenhänge
			
	<i>Abbildung 21 Dieselrainbow (Quelle: John/Wikipedia Commons, CC BY-SA 2.5¹²)</i>		
O8	Wie entsteht das kreisrunde Sichtfeld an der Wasseroberfläche?	niedrig	niedrig 1 Zusammenhänge
			
	<i>Abbildung 22 Totalreflexion (Foto: Bernd Nies/nies.ch, CC BY 4.0)¹³</i>		
O9	Wie entstehen die Farben auf einer CD?	niedrig	hoch 2 Zusammenhänge
			
	<i>Abbildung 23 Interferenz an eine CD (eigene Abbildung)</i>		

¹² Die Abbildung unterliegt der „CC-BY-SA 2.5 Lizenz“ und ist von der gewählten Lizenz für die Dissertation ausgenommen.

¹³ Die Abbildung unterliegt der „CC-BY 4.0 Lizenz“ und ist von der gewählten Lizenz für die Dissertation ausgenommen.

Item	Fragestellung	Transparenz	Komplexität
O10	Wie entsteht die Abbildung der Mühle auf der Wasseroberfläche?	niedrig	niedrig 1 Zusammenhang
Siehe elektronischer Anhang Liste optische Phänomene			
O11	Wie entsteht die Rotfärbung des Himmels bei Sonnenuntergang?	niedrig	niedrig 1 Zusammenhang
Siehe elektronischer Anhang Liste optische Phänomene			
O12	Wie entstehen die Abbildungen der Autos auf der Straße?	niedrig	hoch 3 Zusammenhänge
 <i>Abbildung 24 Mirage over a hot road (Yuri Khristich/ Wikimedia Commons, CC0 1.0)¹⁴</i>			

¹⁴ Die Abbildung unterliegt der „CC0 1.0 Lizenz“ und ist von der gewählten Lizenz für die Dissertation ausgenommen.

8 ANALYSEVERFAHREN

Um die Auswertungs- und Interpretationsobjektivität sicherzustellen, wurde ein Analysemanual erstellt, das eine systematisch regelgeleitete Analyse der Beschreibungen ermöglicht. Das Analyseverfahren wird im Rahmen dieses Kapitels erörtert.

Im ersten Schritt wurden geeignete Analyseeinheiten (Mayring, 2022) für die Merkmale, *Theoretischer Bezug*, *Spezifität*, *Komplexität* und *Linearisierung* ausgewählt. In den Kapiteln 3.2.1 und 3.2.2 wurde die Bedeutung der propositionalen Struktur semantischer Aussagen verdeutlicht. Es wird angenommen, dass die propositionale Struktur mentaler Modelle rekonstruiert und hinsichtlich ihres theoretischen Bezugs bewertet werden kann. Die Untersuchungen von Wagner (2017) zeigen, dass Propositionen dem Theorien- oder Phänomenbereich zugeordnet werden können. Propositionen stellen die kleinste Analyseeinheit dar und beinhalten eine *Kernaussage*, die als richtig oder falsch bewertet werden kann. Das Merkmal *Komplexität* beschreibt unverbundene und verbundene Kernaussagen (Fakten und Zusammenhänge). Die nächstgrößere Analyseeinheit nach der ‚Kernaussage‘ sind die ‚verbundenen Kernaussagen‘. Darauf folgen die Analyseebenen ‚Gesamte Beschreibung‘ und ‚Alle Beschreibungen eines Probanden‘.

Es wird angenommen, dass die Beschreibungen der Probanden gleiche Kernaussagen enthalten, sich jedoch in den zu untersuchenden Merkmalsausprägungen unterscheiden. Zum Beispiel stellen „Das Licht wird gebrochen“ und „Das Licht wird beim Übergang von Luft in Wasser gebrochen“, dieselbe Kernaussage dar (Licht wird gebrochen), wobei die zweite Aussage spezifischer ist als die erste. Um inhaltliche gleiche oder ähnliche Beschreibungen vergleichen zu können, wird eine Liste mit Kernaussagen erstellt. Insgesamt gliedert sich Analyseverfahren daher in folgende Schritte:

- Schritt 1 Entwicklung eines Kategoriensystems mit einer Liste von Kernaussagen
- Schritt 2 Kodierungen der Kernaussagen innerhalb einer Beschreibung
- Schritt 3 Entwicklung eines Kategoriensystems für das Rating der Merkmale

Dabei finden die einzelnen Analyseschritte auf unterschiedlichen Analyseebenen statt. Tabelle 14 gibt einen Überblick über die verschiedenen Analyseebenen.

Tabelle 14 Analyseebenen einer Beschreibung

Analyseebene 1: Einheit Satz
Zerlegen in kleinste Analyseeinheit und erstellen der Liste von Kernaussagen
Kodieren der Kernaussagen innerhalb einer Beschreibung
Analyseebene 2: Kernaussage & verknüpfte Kernaussagen
Rating Komplexität 1–5
Eine einzelne Informationseinheit → Fakt
Mehrere verknüpfte Informationseinheiten → Zusammenhang
• Funktional • Konditional • Kausal • Konsekutiv
Analyseebene 3: Fakten & Zusammenhänge
Theoretischer Bezug 0–1
• Modellebene • Situationsebene
Spezifität 0–1
• Spezifisch • Unspezifisch
Analyseebene 3: Gesamte Beschreibung
Bestimmung der Linearisierung
Quantifizierung der Merkmalsausprägungen und Kernaussagen einer Beschreibung
Analyseebene 4: Alle Beschreibungen eines Probanden
Quantifizierung der Merkmalsausprägungen aller Beschreibungen eines Probanden

8.1 METHODISCHES VORGEHEN

Die Entwicklung des Analyseverfahrens erfolgte gemäß dem Ablaufschema der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2022). Dabei wurden zwei Kategoriensysteme entwickelt.

Bei der Entwicklung des ersten Kategoriensystems der Kernaussagen wurde das Verfahren von (vgl. Wagner, 2017, S. 121) adaptiert und in ein Analysemanual überführt. Das hier dargestellte Vorgehen unterscheidet sich im Wesentlichen darin, dass Wagner die einzelnen Kernaussagen in Pronomen und Prädikate zerteilt und in ein propositionales Netzwerk überführt und visuell die Verknüpfungen der Pronomen in einer Concept-Map darstellt. Im Rahmen dieser Arbeit soll jedoch die Satzstruktur einer Kernaussage erhalten bleiben, da sie für das darauffolgende

Rating immanent ist.¹⁵ Die Generierung der Liste von Kernaussagen erfolgte induktiv auf Basis des Analysemanuals und wurde nach Erreichen einer Sättigung der Liste von Kernaussagen beendet. Eine Sättigung wurde nach 20 % des Datenmaterials (120 Beschreibungen von 10 Studierenden) erreicht.

Für das Rating der Merkmale einer Beschreibung wurde ein deduktives Kategoriensystem entwickelt und induktiv durch Ankerbeispiel erweitert. Die Reliabilität beider Kategoriensysteme wurde mithilfe der Inter-Rater-Reliabilität anhand 20 % des Datenmaterials (Mayring, 2022) überprüft (Kap. 8.5). Die einzelnen Entwicklungsschritte des Analyseverfahrens werden in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

8.2 SCHRITT 1: ENTWICKLUNG EINES KATEGORIENSYSTEMS MIT EINER LISTE VON KERNAUSSAGEN

Im ersten Schritt werden die Beschreibungen (pro Situation) eines Probanden in kleinste Analyseeinheiten zerlegt. Diese kleinste Analyseeinheit enthält eine Kernaussage.

8.2.1 DEFINITION KERNAUSSAGEN

Eine Kernaussage bzw. Proposition wird in der Linguistik als kleinste Wissenseinheit bezeichnet, die einen Sachverhalt beschreibt, und als eigenständige Aussage als wahr oder falsch bewertet werden kann (Wagner, 2017, S. 43).

8.2.2 EIGENSCHAFTEN VON KERNAUSSAGEN

Die Einheit einer Kernaussage beinhaltet in der Regel ein Subjekt und ein Prädikat. Ausnahmen stellen Kernaussagen mit transitiven Verben dar. Transitive Verben¹⁶ benötigen neben dem Subjekt ein weiteres Argument (z. B. Objekt oder Prädikativ¹⁷), um einen vollständigen Satz zu bilden. Kernaussagen mit transitiven Verben beinhalten dementsprechend auch die zu dem Verb gehörende Präposition. Und je nach Zeitform oder Handlungsrichtung (aktiv oder passiv) beinhaltet die Proposition ein Hilfsverb (Kürschner, 2017).

¹⁵ Das Rating der Komplexität und Spezifität erfolgt anhand der Satzstrukturen. Zum Beispiel dienen Konjunktionen (z.B., weil, wegen) als Indikatoren für Zusammenhänge.

¹⁶ Beispiele: treffen, sein, werden, besitzen

¹⁷ Beispiel: „Das Fahrrad ist **blau**“ → Blau ist diesem Fall ein prädikatives Adjektiv. Das Verb sein benötigt ein weiteres Argument, um ein vollständiger Satz zu sein.

Eigenschaft 1. Kernaussagen sind kontextunspezifisch

In dem zu kodierenden Material liegen Beschreibungen zu zwölf optischen Phänomenen vor. Den optischen Phänomenen liegen in vielen Fällen gleiche oder ähnliche physikalische Prozesse zugrunde. Um die Liste der Kernaussagen kurz zu halten, werden die Kernaussagen möglichst kontextunspezifisch formuliert, sodass sie auf alle 12 Situationen anwendbar sind. Das heißt, dass das Subjekt der Kernaussage durch einen Oberbegriff, verallgemeinert werden muss.

Tabelle 15 Beispiele Verallgemeinerung von Begriffen

Begriffe	Verallgemeinerung
Laserstrahl, Lampe, Lichtwelle	Licht
Mühle, See, Wasser	Objekt/Materie
Regenbogen, Farben, Rotfärbung des Himmels	Phänomen

Eigenschaft 2. Kernaussagen sind unspezifisch

Kernaussagen bilden im Rahmen dieser Arbeit nur explizite Aussagen ab, die durch das Prädikat des Satzes bestimmt werden. Implizite Aussagen, die beispielsweise anhand von Adjektiven oder Adverbialen abgeleitet werden können, werden nicht als Kernaussage kodiert, sondern werden in einem späteren Analyseschritt unter ‘Spezifität (Kap. 8.4.2)’ kodiert.

Beispiel: ‘explizite und implizite Aussage’:

„und **ändert** seine Richtung nach dem Reflexionsgesetz Einfallswinkel ist gleich Ausfallswinkel.“ (SF29A, O4“)

Dieser Satz beinhaltet die explizite Aussage: „Licht ändert seine Richtung“ und eine implizite Aussage darüber, wie die Richtungsänderung stattfindet, nämlich gemäß dem Reflexionsgesetz. „Licht ändert seine Richtung“ ist eine explizite Aussage und wird als Kernaussage erfasst. Somit sind Kernaussagen unabhängig von dem Merkmal ‘Spezifität’.

Eigenschaft 3. Kernaussagen sind Fakten

Ebenso sind Kernaussagen einfache Satzkonstruktionen, die einen einzelnen Fakt und keinen Zusammenhang zwischen mehreren Subjekten beschreiben. Fakten und Zusammenhänge werden in einem anderen Analyseschritt kodiert (siehe Kap. 8.4.1 Komplexität).

8.2.3 ANLEITUNG ZUR BILDUNG VON KERNAUSSAGEN

Das Bilden von Kernaussagen wird nachfolgend anhand eines Beispiels skizziert. Eine ausführliche Beschreibung des Vorgehens und der Regeln können dem Analysemanual im elektronischen Anhang entnommen werden.

Schritt 1: Im Satz werden die zusammengehörenden **Subjekte** und **Prädikate** einheitlich markiert.

Schritt 2: Füllwörter, ergänzende Aussagen und Adverbiale werden gestrichen (z. B. „Ich glaube“).

Schritt 3: Aus den zusammengehörenden Subjekten und Prädikaten werden Aussagen formuliert.

Schritt 4: Alle in der Kernaussage vorkommenden Nomen werden durch allgemeine Oberbegriffe ersetzt.

Im Folgenden ist eine beispielhafte Darstellung für die Bildung von Kernaussagen dargestellt:

„~~Ich glaube~~ die **Rotfärbung** (Subjekt) **entsteht** (nicht transitives Prädikat) durch die **Mie-Streuung** (Subjekt des Nebensatzes) welche ~~vor allem~~ die **Wellenlängen des roten Lichtes** (Relativsatz und Subjekt des nächsten Nebensatzes) **streuen** und ~~so~~ zum Beobachter hingestreu werden.“ (OMF5A, O11)

Demnach können drei Kernaussagen festgehalten werden:

- 1) Rotfärbung entsteht

Kernaussage 1: Phänomen entsteht

- 2) Die Mie-Streuung streut Licht

Kernaussage 2: Licht wird gestreut

- 3) Licht wird zum Beobachter hingestreu

Kernaussage 3: Licht wird gestreut.

8.3 SCHRITT 2: IDENTIFIZIEREN DER KERNAUSSAGEN INNERHALB EINER BESCHREIBUNG

Insgesamt wurden 58 Kernaussagen identifiziert. Um eine schnelle und effiziente Zuordnung zu gewährleisten, wurden diese in vier übergeordnete Aussagetypen gegliedert:

1. Aussagen über Licht
2. Aussagen über Objekte/Materie
3. Aussagen über Größen
4. Aussagen über das Phänomen
5. Sonstiges

Die Aussagetypen „Aussagen über Licht“ und „Aussagen über Objekte/Materie“ besitzen weitere Subkategorien (z. B. Licht wechselwirkt mit Materie/Objekt), welche die unterschiedlichen Kernaussagen (Licht wird gebrochen) gliedern (Abbildung 25). Kann keine passende Kernaussage identifiziert werden, so wird sie einer passenden Subkategorie oder einem passenden Aussagetypen zugeschrieben. Ist dies ebenfalls nicht möglich, wird sie der Kategorie „Sonstiges“ zugeordnet.

Aussagen über Licht • Licht wechselwirkt mit Materie/Objekt • z.B. Licht wird gebrochen • Licht interagiert mit Licht • Licht interagiert mit Materie/Objekt • Licht besitzt Eigenschaft • Licht ändert Eigenschaft
Aussagen über Objekt/Materie • Objekt/Materie interagiert/wechselwirkt mit Objekt/Materie • z.B. Objekt wird gespiegelt • Objekt/Materie besitzt Eigenschaft • Objekt/Materie ändert Eigenschaft
Aussagen über Größen(-ordnungen) • Strecke • Winkel • Wellenlänge • Beobachtungsrichtung
Aussagen über Phänomen • Eigenschaft Phänomen • z.B. Phänomen ist wellenlängenabhängig • Ursache/Grund Phänomen

Abbildung 25 Gliederung der Liste der Kernaussagen

8.4 SCHRITT 3: RATING DER BESCHREIBUNGSMERKMALE

Das Rating der Merkmale *Komplexität*, *Theoretischer Bezug*, *Spezifität* und *Linearisierung* findet auf verschiedenen Analyseebenen statt. Das Vorgehen und die Kategorienbeschreibungen werden nachfolgend skizziert und erläutert. Eine ausführliche Kategorienbeschreibung und Sonderregelungen können dem Analysemanual im elektronischen Anhang entnommen werden.

8.4.1 ANALYSEEBENE 2 „EBENE KERNAUSSAGEN & VERKNÜPFT E KERNAUSSAGEN“ (KOMPLEXITÄT)

Im zweiten Analyseschritt wurden die Sätze in kleinste Analyseeinheiten zerlegt, indem diese Kernaussagen zugeordnet wurden. Die mit den Kernaussagen kodierten Segmenten repräsentieren die kleinste Analyseeinheit.

Die Komplexität erfasst, ob Kernaussagen durch sprachliche Konnektoren zu einem Zusammenhang verbunden sind. Unterschieden wird zwischen:

- Fakt
- Konditionaler Zusammenhang
- Kausaler Zusammenhang
- Funktionaler Zusammenhang
- Konsekutiver Zusammenhang¹⁸

Die Operationalisierung erfolgte in Anlehnung an Kauertz (2008).

Definition Fakt

Informationseinheiten, die keinen Zusammenhang abbilden und nicht mit anderen Informationseinheiten zu einem Zusammenhang verbunden sind, heißen Fakten. Die Kodiereinheit eines Faktes entspricht dem kodierten Segment der Kernaussage (Tabelle 16).

Tabelle 16 Beispiel Fakt

Codiertes Segment	Kernaussage	Komplexität
Ein Teil des Lichtes wird an der Rückwand des Tropfens reflektiert,	Licht wird reflektiert	Fakt
ein weiterer Teil gelangt durch Brechung an die Luft	Licht wird gebrochen	Fakt

¹⁸ Kausale und Konsekutive Zusammenhänge beschreiben Ursache-Wirkungszusammenhänge. Konsekutive Zusammenhänge haben jedoch einen Fokus auf der Wirkung (z.B. infolge der unterschiedlichen Wellenlängen...) und Kausale Zusammenhänge den Fokus auf der Ursache (z.B. Aufgrund der unterschiedlichen Wellenlängen).

Definition Zusammenhang

Zusammenhänge sind durch sprachliche Konnektoren verbundene Kernaussagen, die eine Ursache-Wirkungs-Beziehung (konditionale, kausale und konsekutive Zusammenhänge) oder einen funktionalen Zusammenhang darstellen (Tabelle 17).

Tabelle 17 Beispiel Kausaler Zusammenhang

Codiertes Segment	Kernaussage	Kordiereinheit Komplexität
Blaues Licht wird von tiefer liegenden tropfen reflektiert	Licht wird reflektiert	Kausaler Zusammenhang
und gebrochen,	Licht wird gebrochen	
daher ist der Regenbogen innen blau	Aussehen Phänomen	

8.4.2 ANALYSEEBENE 3 „EBENE DER FAKTEN UND ZUSAMMENHÄNGE“ (SPEZIFITÄT/THEORETISCHER BEZUG)

Die Analyseebene 3 umfasst das Rating der Fakten und Zusammenhänge hinsichtlich ihres theoretischen Bezugs, ihrer Spezifität und indirekt ihrer fachlichen Richtigkeit. Die Kodiereinheit des Ratings entspricht der Kodiereinheit der Komplexität. Das heißt, es werden Fakten und Zusammenhänge bewertet. Beim Rating müssen insgesamt folgende Entscheidungen getroffen werden:

1. Ist der Fakt oder der Zusammenhang Teil der Sicht- oder Modellebene?
2. Ist der Fakt oder Zusammenhang spezifisch oder unspezifisch?
3. Ist der Fakt oder Zusammenhang fachlich korrekt oder fachlich falsch?
Ist der Fakt oder Zusammenhang fachlich falsch, dann wird er als „unspezifisch“ kodiert.

Aus ökonomischen Gründen werden die Kategorien des theoretischen Bezugs und der Spezifität wie folgt miteinander verbunden:

- Modellspezifisch
- Modellunspezifisch
- Situationsspezifisch
- Situationsunspezifisch

Dies wird dadurch begründet, dass in der verwendeten Software MAXQDA für das Rating der Fakten und der vier verschiedenen Zusammenhänge Subkategorien angelegt werden müssen. Durch das Zusammenlegen der Codes reduziert sich die Anzahl um 16 Subkategorien. Dadurch erhöht sich einerseits die Übersichtlichkeit des Codesystems und andererseits vereinfacht sich dadurch der Datenexport (Kap. 9.1). Der Entscheidungsvorgang wird dadurch nicht verändert und die Variablen können im Nachgang aggregiert werden. Als Nachteil ist anzumerken, dass keine gesonderte Beurteilerübereinstimmung bezüglich der einzelnen Merkmale möglich ist, sondern nur als Gesamtskala bestimmt werden kann.

Nachfolgend werden die Operationalisierungen der Merkmale *Theoretischer Bezug* und *Spezifität* nacheinander vorgestellt.

Theoretischer Bezug

Definition Modellebene (Wagner, 2017, S. 125)

Die in dem Fakt oder Zusammenhang dargestellten Informationen über eine Entität oder Prozesse sind Teil einer physikalischen Theorie. Das bedeutet, dass es sich dabei um Informationen handelt, die nicht direkt dem Bild entnommen werden können, sondern auf der Basis von konzeptionellem Wissen in Form von Theorien und Konzepten erinnert oder interpretiert werden.

Definition Situationsebene (Wagner, 2017, S. 125)

Die im Fakt oder Zusammenhang dargestellten Informationen über eine Entität wurden direkt aus dem Bild entnommen oder anhand von Alltagserfahrungen erinnert oder interpretiert.

Tabelle 18 Beispiel theoretischer Bezug

Theoretischer Bezug	Beispiel	Begründung
Modellebene	Unterschiedliche Schichtdicken des Ölfilms führen zu unterschiedlichen Brechungen des Lichtes, das von der Pfütze reflektiert wird. (GL18Aa, O7)	Wechselwirkungen des Lichtes werden beschrieben.
Situationsebene	bei höherer Strahlungsintensität der Sonne und stärkerem Regen steigt die Sichtbarkeit des Regenbogens (BFN04Z, O1)	Die Verwendung von Fachbegriffen, wie Strahlungsintensität, sind nicht hinreichend. Alle genannten Entitäten und Prozesse können aus Alltagserfahrungen abgeleitet werden.

Spezifität

Die *Spezifität* (Kohlhauf, 2013) erfasst implizite Aussagen, die durch die Kernaussagen nicht erfasst werden, jedoch relevant für die Beantwortung der Forschungsfrage sind. Implizite Aussagen werden durch Attribute angezeigt, d. h. Ergänzungen von Substantiven durch Adjektive, Adverbien, präpositionale Ortsangaben, etc. Explizite Aussagen werden durch Prädikate bzw. Nominalisierungen generiert. Implizite Aussagen werden durch Attribute generiert. Im nachfolgenden Beispiel sind die zusätzlichen Attribute markiert.

„An der nächsten Phasengrenze Öl/Wasser wird wiederrum ein Teil des einfallenden Lichtes reflektiert, [...]“ (OMF5A, O7)

Explizite Aussage: „Licht wird reflektiert“

Implizite Aussagen:

- Ort der Reflexion → Phasengrenze
- Medien der Phasengrenze → Öl/ Wasser
- Einschränkung → nur ein Teil des Lichtes
- Unterscheidung → der einfallende Lichtstrahl
- Wiederholung → wiederum

Somit beinhaltet der Satz fünf zusätzliche Informationen und ist spezifischer, als der Satz „Licht wird reflektiert“. Bei dem Rating der *Spezifität* wird zwischen *spezifisch* und *unspezifisch* unterschieden. Die *Spezifität* wird hinsichtlich der Fakten und Zusammenhänge operationalisiert (Tabelle 19). Der Grund hierfür ist, dass ein Zusammenhang nicht zwangsläufig spezifischer ist, wenn darin mehr implizite Informationen enthalten sind. Entscheidend ist, dass die Ursache und Wirkung hinreichend ausdifferenziert ist, sodass der Zusammenhang einen logischen, argumentativen Schluss abbildet. Dies ermöglicht es, unterschiedliche Qualitäten von Zusammenhängen abzubilden.

Tabelle 19 Operationalisierung Spezifität

Komplexität Spezifität	Spezifisch	Unspezifisch
Fakt	Es werden zusätzliche Informationen/Rahmenbedingungen zu den durch das Verb angezeigte Prozesse angegeben. „Das Licht, das von der Mühle auf die Wasseroberfläche scheint“ (HAJ05S, O4)	Es werden <u>keine oder falsche</u> zusätzlichen fachlichen Informationen/Rahmenbedingungen zu den durch das Verb angezeigte Prozesse angegeben „Beim Eindringen in die Ölschicht kommt es einerseits zum Phasensprung“, (HAJ05S, O7)
Konditionale, Kausale, Konsekutive Zusammenhänge	Es wird eine hinreichend differenzierte Bedingung/Ursache/Wirkung genannt, welche die daraus folgenden Prozesse <u>schlüssig</u> abbildet. „Sofern der Gangunterscheid zwischen den Wellen einem ganzzahligem Vielfachen der Wellenlänge des Lichts entspricht, kommt es zu konstruktiver Interferenz“. (BN21O, O7)	Es wird <u>keine hinreichend differenzierte oder falsche</u> Bedingung/Ursache/Wirkung genannt, welche die daraus folgenden Prozesse <u>schlüssig</u> abbildet. „Wenn man in dem richtigen Winkel auf den Ölfilm schaut erkennt man verschiedene Farben.“ (OSP3U, O7)
Funktionale Zusammenhänge	Es wird die abhängige und unabhängige Variable genannt außerdem wird die Richtung der Proportionalität genannt. „und aus dem weißen Licht (alle Wellenlängen sind "gleichmäßig" vertreten) werden die kürzeren Wellenlängen stärker gebrochen als die längeren“ (OMF5A, O1)	Der Zusammenhang bezieht sich auf ein Verb der Modellebene. Es wird <u>nicht</u> die abhängige und unabhängige Variable oder die Richtung der Proportionalität genannt. Oder es handelt sich um falsche Aussagen. „Da die Lichtbrechung aber Wellenabhängig ist.“ (OMF5A, O1)

8.4.3 ANALYSEEBENE 3 „EBENE DER BESCHREIBUNG“ (LINEARISIERUNG)

Alle Phänomene lassen sich durch eine Abfolge von Wechselwirkungen des Lichts beschreiben. Eine angemessene *Linearisierung* in diesem Kontext ist es, den Lichtweg von einer (sekundären) Lichtquelle bis zur Kamera und die dabei auftretenden Wechselwirkungen zu beschreiben.

Es wird angenommen, dass auf Basis der kodierten Kernaussagen die *Linearisierung* rechnerisch bestimmt werden kann. Hierzu wird die relative Anzahl an Kernaussagen über Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie berechnet. Hierzu zählen Kernaussagen der Aussagetypen (Kap. 8.3) ‚Aussagen über Licht‘, ‚Aussagen über Materie‘ und ‚Aussagen über Größen‘. Es wird angenommen, dass eine Beschreibung mit einem hohen Anteil an Kernaussagen über Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie eine *Linearisierung* gemäß dem Wechselwirkungskonzept aufweist. Wohingegen Beschreibungen mit einem hohen Anteil an ‚Aussagen über Phänomen‘ und ‚Aussagen Objekt/Materie mit Objekt/Materie‘ eine andere Form der *Linearisierung* aufweisen, wie beispielsweise eine referenzielle Bewegung entlang des Bildes (z. B. Vordergrund/ Hintergrund). Da die Anzahl der Aussagen über Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie mit der Anzahl der Kernaussagen zusammenhängt, wird bei den Analysen die relative Häufigkeit verwendet (Anzahl der Kernaussagen über Wechselwirkungen/Anzahl der Kernaussagen).

Die quantitativen Berechnungen werden durch Einzelfallanalysen überprüft. Hierzu wird nachfolgendes Schema genutzt (Tabelle 20):

Tabelle 20 Operationalisierung der Linearisierung

Linearisierung	Beschreibung
Wechselwirkungsprinzip	Der Hauptteil enthält eine Beschreibung des Lichtwegs von einer (sekundären) Lichtquelle bis zur Kamera oder Auge. Dabei werden Wechselwirkungen von Licht und Materie genannt. Die Lichtquelle oder der Endpunkt des Lichtwegs muss nicht explizit genannt werden. z. B.: Licht trifft von der Münze (sekundäre Lichtquelle) auf die Rückwand des Gefäßes und wird dort totalreflektiert und tritt aus der Wasseroberfläche
Sonstige Linearisierung	Der Lichtweg ist nicht rekonstruierbar.

Die nachfolgenden Beispiele vergleichen verschiedene Beschreibungen hinsichtlich der berechneten Linearisierung am Phänomens Regebogen.

Beispiel 1: Kein Fokus auf Wechselwirkungen

„Es ist ein etwa Halbkreisförmiger Bogen vor dunklem Hintergrund über dem Horizont zu sehen. Von innen nach außen weist der Bogen einen Farbverlauf von Lila nach rot über das gesamte Farbspektrum weissen Lichts auf. Die Lichtquelle scheint sich im Rücken des Betrachters zu befinden. Es ist Regen zu erkennen.“ (AF31A, O1)

Die berechnete relative Häufigkeit der Linearisierung beträgt $RelLin = .00$. Dies stimmt mit einer qualitativen Einschätzung gemäß dem Operationalisierungsschema überein. Der Lichtweg wird nicht rekonstruiert und keine Wechselwirkungen des Lichts genannt.

Beispiel 2: Ausgewogener Fokus auf Wechselwirkungen und Situation

„Auf dem Bild ist ein Regnbogen über einem Gewässer zusehn . Ein solcher Bogen kommt nur zustande, wenn sich die Lichtquelle hinter dem Beobachter befindet. Die Lichtstrahlen fallen auf die nasse Oberfläsche und werden reflektiert und gebrochen.“ (PK39E, O1)

Die berechnete relative Häufigkeit beträgt bei diesem Beispiel $RelLin = .50$. Der Fokus der Beschreibung ist relativ ausgewogen hinsichtlich der Beschreibung der Situation und die auftretende Wechselwirkung.

Beispiel 3: Überwiegend Fokus auf Wechselwirkungen

„Zu sehen ist ein Regenbogen. Hier wird an kleinen Wassertröpfchen Sonnenlicht jeweils mehrfach gebrochen. Je nach ausfallendem Winkel des Lichtes aus den Tröüfchen zum

Beobachter, ergibt sich, dass jeweils unterschiedliches Licht(unterschiedliche Wellenlänge / Farbe des Lichts)auf das Auge des Betrachters fällt, wodurch die unterschiedlichen Farben des Regenbogens zu sehen sind. Ist der Winkel zu groß oder zu klein, ist das einfallende Licht von den jeweiligen Wassertröpfchen nicht stark genug gebrochen und verschiedene Wellenlängen treffen gemeinsam am Auge des Betrachters ein (Weißes Licht ober- und unterhalb des Regenbogens).“ (GL18A,O1)

Die berechnete relative Häufigkeit beträgt bei diesem Beispiel $RelLin = .75$. Der Fokus der Beschreibung liegt überwiegend auf der Beschreibung der Wechselwirkung. Im Text sind diejenigen Aussagen markiert, die sich auf das allgemeine Aussehen des Phänomens beziehen.

Bei der Überprüfung werden jedoch auch Grenzen der Aussagekraft des berechneten Werts deutlich:

Beispiel 4: Grenzen aufgrund kurzer Beschreibungen

„Lichtbrechung in den Regentropfen.“(IL11P, O1)

Die Berechnungen ergeben in diesem Fall 100 % Fokus auf die Wechselwirkungen des Lichts. Inhaltlich bildet die Beschreibung das auch ab, jedoch wird durch einen ‘Satz’ kein Lichtweg rekonstruiert. Im Hinblick auf die Charakterisierung von Beschreibungen werden auch die Anzahl der Kernaussagen erfasst und sollte bei der Interpretation anderer Beschreibungsmerkmale berücksichtigt werden.

8.5.1 INTER-RATER-RELIABILITÄT KERNAUSSAGEN UND KOMPLEXITÄT

Die Schulung wurde anhand der Beschreibungen von zehn Studierenden durchgeführt. Die Zweitkodiererin ging beim Kodieren ausschließlich nach Anleitung des Kodiermanuals vor. Dabei wurden die Beschreibungen von je zwei Studierenden kodiert und anschließend besprochen. Abweichungen wurden diskutiert und die Definitionen geschärft sowie zusätzliche Ankerbeispiele im Kodiermanual aufgenommen. Am Ende der Schulung wurde die Beurteilerübereinstimmung berechnet (Tabelle 22).

Tabelle 22 Beurteilerübereinstimmung Kernaussagen

	Person 1		
	1	0	
	1	0	
Person 2	a = 496	b = 43	539
	c = 39	0	39
	535	43	578

$$P(\text{observed}) = P_o = a / (a + b + c) = .86$$

$$P(\text{chance}) = P_c = 1 / \text{Anzahl der Codes} = 1 / 47 = .02$$

$$\text{Kappa} = (P_o - P_c) / (1 - P_c) = .86$$

Für die Kodierung der *Kernaussagen* ergab sich mit $K = .86$ eine sehr gute Übereinstimmung. Die Übereinstimmung der *Komplexität* erwies sich mit einem $K = .81$ ebenfalls als ‚sehr gut‘. Betrachtet man die prozentuale Übereinstimmung der Subkategorien, liegen diese zwischen 70 - 93 % in einem ‚guten‘ bis ‚sehr guten‘ Bereich (Tabelle 23 und Tabelle 24).

Tabelle 23 Beurteilerübereinstimmung Komplexität

	Person 1		
	1	0	
	1	0	
Person 2	a = 390	b = 29	539
	c = 43	0	43
	433	29	462

$$P(\text{observed}) = P_o = a / (a + b + c) = .84$$

$$P(\text{chance}) = P_c = 1 / \text{Anzahl der Codes} = 1 / 5 = .20$$

$$\text{Kappa} = (P_o - P_c) / (1 - P_c) = .81$$

Tabelle 24 Prozentuale Übereinstimmung der Subkategorien von Komplexität

Code	Übereinstimmung	Nicht-Übereinstimmung	Gesamt	Prozentual
<i>Fakt</i>	266	41	307	86.64
<i>Konditionaler Zusammenhang</i>	14	1	15	93.33
<i>Kausaler Zusammenhang</i>	50	12	62	80.65
<i>Funktionaler Zusammenhang</i>	36	8	44	81.82
<i>Konsekutiver Zusammenhang</i>	24	10	34	70.59
<Total>	390	72	462	84.42

8.5.2 INTER-RATER-RELIABILITÄT THEORETISCHER BEZUG UND SPEZIFITÄT

Die Schulung für das Kategoriensystem für das Rating des *Theoretischen Bezugs* und der *Spezifität* fand am Material von zehn Studierenden statt. Die Beurteilerübereinstimmung wurde auf der Basis der Beschreibungen von sieben Studierenden bestimmt. Dies entspricht rund 50 % des Datenmaterials, das hinsichtlich des *Theoretischen Bezugs* und der *Spezifität* gerated wurde (Tabelle 25).

Tabelle 25 Beurteilerübereinstimmung theoretischer Bezug & Spezifität

Person 1				
Person 2		1	0	
	1	a = 662	b = 106	768
	0	c = 115	0	115
		777	106	883

$$P(\text{observed}) = P_o = a / (a + b + c) = .75$$

$$P(\text{chance}) = P_c = 1 / \text{Anzahl der Codes} = 1 / 16 = .06$$

$$\text{Kappa} = (P_o - P_c) / (1 - P_c) = .73$$

Die Übereinstimmung zeigt mit einem Wert von $K = .73$ zwar ein zufriedenstellendes Ergebnis für die Gesamtskala, jedoch zeigten nicht alle Subkategorien eine ausreichende Übereinstimmung. Außerdem kamen in dem Material nicht alle Subkategorien vor. (Tabelle 26). Daher wurde das zu kodierende Material, die Fallanalysen von 15 Studierenden, durchgehend von zwei Raterinnen kodiert und im Anschluss besprochen, um somit eine Einigung zu erzielen (Rädiker & Kuckartz, 2019).

Tabelle 26 Prozentuale Übereinstimmung Theoretischer Bezug & Spezifität

Code	Übereinstimmung	Nicht-Übereinstimmung	Gesamt	Prozentual
<i>Fakt-Modellspezifisch</i>	122	53	175	69.71
Fakt-Modellunspezifisch	232	61	293	79.18
Fakt-Situationspezifisch	68	23	91	74.73
Fakt-Situationsunspezifisch	12	9	21	57.94
Konditionaler Zusammenhang- <i>Modellspezifisch</i>	24	3	27	88.89
Konditionaler Zusammenhang- Modellunspezifisch	2	1	3	66.67
Konditionaler Zusammenhang- Situationsspezifisch	2	2	4	50.00
Konditionaler Zusammenhang- Situationsunspezifisch	-	-	-	-
Kausaler Zusammenhang- Modellspezifisch	54	18	72	75.00
Kausaler Zusammenhang- Modellunspezifisch	2	1	3	66.67
Kausaler Zusammenhang- Situationsspezifisch	0	1	1	0.00
Kausaler Zusammenhang- Situationsunspezifisch	0	1	1	0.00
Funktionaler Zusammenhang- Modellspezifisch	34	6	40	85.00
Funktionaler Zusammenhang- Modellunspezifisch	30	5	35	85.71
Funktionaler Zusammenhang- Situationsspezifisch	-	-	-	-
Funktionaler Zusammenhang- Situationsunspezifisch	-	-	-	-
Konsekutiver Zusammenhang- <i>Modellspezifisch</i>	26	8	34	76.47
Konsekutiver Zusammenhang- <i>Modellunspezifisch</i>	22	10	32	68.75
Konsekutiver Zusammenhang- Situationsspezifisch	2	1	3	66.67
Konsekutiver Zusammenhang- Situationsunspezifisch	-	-	-	-
<Total>				74.97

9 DURCHFÜHRUNG

Es wurden vier Erhebungen im Rahmen der Vorlesung ‘Experimental Physik II: Optik’ an der Rheinland-Pfälzischen Technischen Universität Kaiserslautern-Landau, Campus Landau, mit Lehramtsstudierenden durchgeführt. Um quantitative Auswertungen durchführen zu können, die robust gegenüber Verletzungen der Normalverteilung sind und über eine hohe statistische Power verfügen (z. B. parametrische Testverfahren), wurde eine Mindeststichprobe von 30 Studierenden angestrebt (Jürgen Bortz & Schuster, 2010). Aufgrund geringer Studierendenzahlen mussten daher mehrere Studienzeiträume eingeplant und Erhebungen durchgeführt werden.

Bei den Studierenden handelte es sich nach dem Regelstudienverlaufsplan um Bachelorstudierende des dritten und vierten Semesters. Es wurde zunächst der deklarative Modellkompetenztest via Microsoft Forms und im Anschluss der Test zu ‘Beschreiben optischer Phänomene’ via LimeSurvey durchgeführt.

Die ersten beiden Erhebungen wurden während einer Vorlesungssitzung vor Ort durchgeführt, die dritte und vierte Erhebung musste aufgrund der Corona-Pandemie digital durchgeführt werden. Hierdurch ergaben sich unterschiedliche Durchführungsbedingungen für die verschiedenen Erhebungszeitpunkte. Das bedeutet, dass die Studierenden des digitalen Semesters über den Zeitpunkt und die Zeitdauer der Bearbeitung frei entscheiden und die Umfrage jederzeit unterbrechen und zu einem späteren Zeitpunkt fortsetzen konnten. Im Umfragetool werden die Beantwortungszeiten und Unterbrechungen erfasst und können in den Auswertungen berücksichtigt werden. Obwohl sich die Durchführungsbedingungen unterscheiden, werden zunächst alle Daten in die Analyse einbezogen. Dies lässt sich dadurch begründen, dass die Studie nicht darauf abzielt, Hypothesen zu überprüfen, sondern diese zu generieren. Daher muss nicht jeder Einflussfaktor auf die Merkmale kontrolliert werden, jedoch sollten sie bei der Interpretation der Daten und der Generierung von Hypothesen berücksichtigt werden.

9.1 AUFBEREITUNG DER DATEN

Der Fragebogen zur deklarativen Modellkompetenz wurde im Sommersemester 2019 noch mit einem Paper-Pencil-Test durchgeführt. Diese Daten wurden in SPSS eingepflegt und auf korrekte Übertragung kontrolliert. Ab dem Sommersemester 2020 wurden sie mit dem Umfragetool Microsoft Forms erhoben. Die Daten wurden in Excel –exportiert, in SPSS übertragen und mit einer Syntax automatisiert ausgewertet.

Die Erhebung der Beschreibungen erfolgte mit dem Umfragetool LimeSurvey. Die Daten wurden als Word-Datei exportiert und in die Analysesoftware MAXQDA überführt. Für jede Person wurde ein Dokument mit allen Beschreibungssituationen angelegt. Dieses Dokument beinhaltet auch die Bearbeitungsdauer und den allgemeinen Fragebogen zur Vorbildung. Diese Daten wurden ebenso in SPSS übertragen. Die jeweilige Dokumentenbezeichnung entspricht der Test ID der Studienteilnehmenden. Alle Daten wurden durch die Angabe einer ID anonymisiert. Mithilfe besagter ID können Beschreibungen und Fragebögen der Studienteilnehmenden einander zugeordnet werden.

Die Kodierungen erfolgten mittels MAXQDA und die quantitative Auswertung erfolgte mit SPSS. Hierfür mussten die Daten aufgrund der eingeschränkten Export-Möglichkeiten in SPSS zunächst in EXCEL exportiert werden, um dann schließlich in SPSS überführt werden zu können. Um mögliche Übertragungsfehler zu identifizieren, wurden Summenwerte der Rohdaten in SPSS aggregiert und mit den Summenwerten der MAXQDA Ausgabe verglichen.

Die finale SPSS-Datei umfasst die absoluten Häufigkeiten der vergebenen Codes je Beschreibungssituation und die Daten der Fragebögen. Die Fälle stellen die jeweiligen Studienteilnehmenden dar.

Da die Erhebungen zu mehreren Zeitpunkten stattgefunden haben, konnte es potenziell zu einer mehrfachen Studienteilnahme kommen. Bei doppelter Teilnahme an der Studie wurde nur eine Teilnahme in der Auswertung berücksichtigt. Die Auswahl erfolgte nach folgenden Kriterien:

- Liegen zu beiden Testzeitpunkten ein deklarativer Modellkompetenztest vor, dann wird der Fall bevorzugt, bei dem noch keine Optikvorlesung besucht wurde. Dies wird dadurch begründet, dass angenommen wird, dass Studierende, welche die Vorlesung nicht besucht haben, über eine geringere *deklarative Modellkompetenz* verfügen können. Da durch die Erhebungszeitpunkte abzusehen ist, dass mehr Studierende bereits

die Optikvorlesung besucht haben, werden die Daten vor Vorlesungsbesuch im Sinne einer kontrastierenden Stichprobe bevorzugt.

- Liegt nur zu einem Zeitpunkt ein deklarativer Modellkompetenztest vor, dann wird der Fall mit dem vorliegenden Test gewählt, da die *deklarative Modellkompetenz* im Studiendesign als Prädiktor für die Beschreibungsfähigkeit angenommen wird.
- Liegt zu keinem Zeitpunkt ein deklarativer Modellkompetenztest vor, dann wird der Testzeitpunkt bevorzugt, bei dem noch keine Optikvorlesung besucht wurde, um eine kontrastierende Stichprobe zu gewährleisten.

9.2 STICHPROBE

Insgesamt beläuft sich die Stichprobe nach Ausschluss von doppelten Teilnahmen und fehlenden deklarativen Modellkompetenztest auf $N = 28$ (Tabelle 27). Somit umfassen die Daten insgesamt 336 Beschreibungen.

Tabelle 27 Stichprobengröße je Erhebungszeitpunkt EZ

EZ	Gruppe	Erhebungszeitpunkt	N	
			N	Gültig
1	Studierende	Beginn Sommersemester 2019	15	10
2	Studierende	Ende Sommersemester 2019	9	4
3	Studierende	Ende Sommersemester 2020	10	9
4	Studierende	Ende Sommersemester 2021	7	5
Gesamt			41	28

10 INSTRUMENTE

Im Rahmen der Studie wurde begleitend zu den Beschreibungsaufgaben zwei Fragebögen eingesetzt. Der erste Fragebogen erfasste die *deklarative Modellkompetenz* und der zweite Fragebogen adressierte die Vorbildung der Studierenden. Nachfolgend werden beide Fragebögen vorgestellt sowie die Reliabilität des Fragebogens zur *deklarativen Modellkompetenz* dargelegt.

10.1 FRAGEBOGEN DEKLARATIVE MODELLKOMPETENZ

In der Studie wird der Fragebogen von Digel (2018) zur *deklarativen Modellkompetenz* eingesetzt. Der Test wurde von Digel an Lernenden der Sekundarstufe II validiert und weist eine ausreichende Reliabilität von $\alpha_c = .760$ auf. Für diese Studie wurde der Fragebogen um zusätzliche Items ergänzt, da der Themenbereich der Brechung im Fragebogen unterrepräsentiert ist und ein Großteil der Phänomene auf die Brechung zurückgeführt werden kann. Dabei handelte es sich um ein selbsterstelltes Item und fünf Items von Sokoloff (2006), die verschiedene Skizzen von Strahlenverläufen zeigen. Die Studierenden mussten auswählen, unter welchen Bedingungen der Strahlenverlauf gültig ist. Somit umfasste der Fragebogen insgesamt 25 Items. Tabelle 28 zeigt drei Beispielitems.

Tabelle 28 Beispiel Items des Fragebogens

ALOP (Sokoloff, 2006)

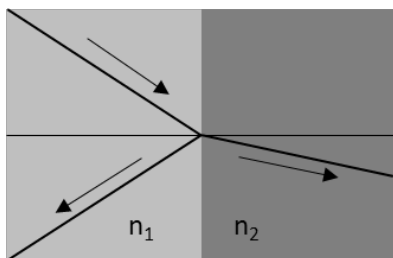


Abbildung 26 Skizze Strahlengang nach Sokoloff (2006); verändert

Es sind 6 Bedingungen (A-F) gegeben. Benennen Sie für jede Skizze, welche der 6 Bedingungen (A-F) für die jeweilige Skizze zutreffen.

- A. Nur wenn $n_2 > n_1$
- B. Nur wenn $n_2 = n_1$
- C. Nur wenn $n_2 < n_1$
- D. Trifft zu, wenn $n_2 > n_1$ und $n_2 < n_1$
- E. Der Strahlenverlauf ist niemals möglich.
- F. Der Strahlenverlauf ist immer möglich, unabhängig von den Brechungsindizes.

Dekmo-O4 (Digel, 2018)

Wählen Sie genau eine Antwort: Bei Beugung ...

- ☐ wechselt die Welle das Medium.
- ☐ ändert die Welle ihre Frequenz.
- ☐ ändert die Welle ihre Wellenlänge.
- ☐ bleibt die Welle im selben Medium.

Brech1 (eigene Aufgabe)

Wählen Sie eine oder mehrere Antwort/en: Bei Brechung ...

- ☐ ändert die Welle ihre Frequenz.
 - ☐ ändert die Welle ihre Wellenlänge.
 - ☐ ändert die Welle ihre Geschwindigkeit
 - ☐ ändert die Welle ihre Ausbreitungsrichtung
-

Das Item ‚Brech1‘ wurde gemäß der Struktur der Items des ‚DekMo-O‘ formuliert (vgl. Tabelle 28). Der ‚DekMo-O‘ beinhaltet auch Testitems, bei denen Zusammenhänge anhand einer Skizze identifiziert werden müssen.

Für diese Items sind Vorhersagen erforderlich, wie sich die Bildgröße bei Veränderung der Gegenstandsweite durch die Abbildung einer Linse verändert. Ebenso müssen bei den eingesetzten Items des ‚ALOP‘ Testinstruments Zusammenhänge erkannt werden. Diese beziehen sich auf die Brechung und die damit verbundene Richtungsänderung des Lichts, abhängig von der optischen Dichte der beteiligten Medien. Um zu überprüfen, ob die verwendeten Items strukturell zu den anderen Testitems passen und der Test für Studierende geeignet ist, wurde die Reliabilität der Skala geprüft.

10.2 RELIABILITÄT FRAGEBOGEN DEKLARATIVE MODELLKOMPETENZ

Der Test umfasste 25 Items und wurde von $N = 28$ Studierenden bearbeitet¹⁹. Die Reliabilität wurde mithilfe Cronbach's Alpha und die Itemschwierigkeit anhand der Item-Mittelwerte bestimmt. Items mit einem Mittelwert unter $MW < 0,2$ galten als zu schwere Items und Items mit einem Mittelwert $MW > 0,8$ gelten als zu leicht (Wirtz, 2017). Die Items *DekMo-O2*, *DekMo-O10*, *DekMo-O12b*, *DekMo-O12d*, *DekMo-O12g*, *DekMo-O12h*, *DekMo-O12i* und *Alop4* lagen mit dem Item-Mittelwert über dem Wert $MW > 0,8$ und wurden entfernt. Das Item *Brech1* wurde ebenfalls entfernt, da es zu viele fehlende Werte aufweist.

Neben der Itemschwierigkeit wurde die korrigierte Item-Skala-Korrelation betrachtet. Die Items *DekMo-O12g* und *DekMo-O10* wiesen eine negative Item-Skala-Korrelation auf und wurden entfernt. Das Item *DekMo-O11* wies eine geringe Item-Skala-Korrelation auf ($r = .072$) und adressierte die Abbildungsgesetze, welche weder im Rahmen der Vorlesung noch bei den zu beschreibenden Phänomenen eine Rolle spielten, und wurde daher entfernt.

Damit verblieben 16 Items, die mit einer Reliabilität von $\alpha_c = .720$, die somit in etwa der Reliabilität von Digel (2018) $\alpha_c = .760$ entsprach und sich damit in einem akzeptablen Bereich befand. Tabelle 29 zeigt die Item-Statistik der verbliebenen Items. Die vollständige Item-Statistik kann dem elektronischen Anhang entnommen werden.

¹⁹Bei der Stichprobe $N=28$ handelt es sich um die Hauptstichprobe der Studie. Der Test wurde nicht pilotiert, da es sich um ein validiertes Testinstrument handelt und der Unterschied im erwarteten Leistungsniveau zwischen den Lernenden der Sekundarstufe II und den Studierenden gering ist.

Tabelle 29 Item-Statistik der deklarativen Modellkompetenz

	Mittelwert	Std.-Abweichung	N
Bewertung DekmoO1	.7857	.41786	28
Bewertung DekmoO3	.5714	.50395	28
Bewertung DekmoO4	.5714	.50395	28
Bewertung DekmoO6	.2857	.46004	28
Bewertung DekmoO7	.6429	.48795	28
Bewertung DekmoO8	.5000	.50918	28
Bewertung DekmoO9	.4286	.50395	28
Bewertung DekmoO12a	.2500	.44096	28
Bewertung DekmoO12c	.3571	.48795	28
Bewertung DekmoO12e	.5714	.50395	28
Bewertung DekmoO12f	.7857	.41786	28
Bewertung ValueAlop1	.7143	.46004	28
Bewertung ValueAlop2	.6786	.47559	28
Bewertung ValueAlop3	.3571	.48795	28
Bewertung ValueAlop5	.6071	.49735	28

10.3 ALLGEMEINER FRAGEBOGEN

Neben der deklarativen Modellkompetenz wurden Alter und Geschlecht sowie Fragen zur physikalischen und naturwissenschaftlichen Vorbildung erfasst, um Unterschiede der Beschreibungsmerkmale von Studierenden mit unterschiedlicher Vorbildung zu untersuchen. Hierzu zählten folgende Items:

- Hatten die Studierenden Physik in der Oberstufe? Wenn ja, als Leistungs- oder Grundkurs?
- Welche Vorlesungen wurden bereits besucht?
- Ist das Fach Physik ein Hauptfach der Studierenden?
- In welchem Fachsemester befinden sich die Studierenden?
- Haben die Studierenden bereits eine naturwissenschaftlich-technische Ausbildung oder Studium absolviert?

11 VORGEHEN DER DATENANALYSE

Das Ziel der Forschungsarbeit besteht darin, ein Verfahren zur Analyse naturwissenschaftlicher Beschreibungen zu entwickeln und dessen Eignung empirisch zu überprüfen. Im Rahmen des Analyseverfahrens wurden auf Basis des Kodiermanuals die Beschreibungen zunächst in kleinste Einheiten zerlegt (*Kernaussagen*). Diese wurden dann hinsichtlich ihrer *Komplexität* (Fakt vs. Zusammenhang) kodiert. Anschließend wurden die *Fakten* und die *Zusammenhänge* bezüglich ihres *theoretischen Bezugs* (Modellebene vs. Sichtebeine) und ihrer *Spezifität* (spezifisch vs. unspezifisch) gerated. Die *Linearisierung* (Ordnung der Informationen entlang der Wechselwirkungen) wurde rechnerisch anhand der relativen Anzahl an Kernaussagen, der Eigenschaften von Licht und Materie sowie Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie adressiert. Dabei wurden alle Beschreibungen hinsichtlich der *Kernaussagen* und der *Komplexität* kodiert ($N = 28$). Aufgrund der hohen Datenmenge (336 Beschreibungen) wurde anhand der statistischen Auswertung dieser beiden Merkmale (Kap. 12.5) ein Personensample von $N = 15$ Fällen ermittelt, deren Beschreibungen zusätzlich hinsichtlich des *Theoretischen Bezugs* (Modellebene vs. Situationsebene) und der *Spezifität* (spezifisch vs. unspezifisch) kodiert wurden.

Es wurde angenommen, dass das Verfahren zur Analyse naturwissenschaftlicher Beschreibungen geeignet ist, wenn folgende Kriterien erfüllt sind (Kap. 6.1):

- Die Ausprägungen der Beschreibungsmerkmale unterscheiden sich bei verschiedenen Studierenden und sind dadurch geeignet, die Beschreibungen unterschiedlicher Studierender zu charakterisieren.
- Die Ausprägungen der Beschreibungsmerkmale unterscheiden sich, gemäß der im Messmodell beschriebenen Zusammenhängen, bei Studierenden mit unterschiedlichem *Expertise-Niveau* (deklarative Modellkompetenz, Besuch der Optikvorlesung).
- Die Ausprägungen der Beschreibungsmerkmale unterscheiden sich bei verschiedenen Phänomenen unterschiedlicher *Aufgabenmerkmale* (Komplexität und Transparenz).

Die empirische Überprüfung des Analyseverfahrens erfolgte entsprechend auf zwei Ebenen.

Analysefokus I: Zusammenhang Expertise und Beschreibungsmerkmale

Im Rahmen der Untersuchungen zu Analysefokus I wurde die erste Forschungsfrage, *wie unterscheiden sich die naturwissenschaftlichen Beschreibungen Studierender unterschiedlicher Expertise bezüglich der Beschreibungsmerkmale unterscheiden*, beantwortet. Hierzu wurden die Mittelwerte der Merkmalsausprägungen aller Beschreibungen der Studierenden analysiert und die Zusammenhänge zwischen der Expertise und Merkmalsausprägungen (vgl. Tabelle 30) der Beschreibungen mithilfe von Korrelations- und Varianzanalysen untersucht. Zur Feststellung verschiedener Expertise-Niveaus dienten die *deklarative Modellkompetenz* und der *Besuch der Optikvorlesung*.

Analysefokus II: Zusammenhang Aufgabenmerkmale und Beschreibungsmerkmale

Analysefokus II adressierte die zweite Forschungsfrage, *wie unterscheiden sich die naturwissenschaftlichen Beschreibungen unterschiedlicher Phänomene bezüglich der Beschreibungsmerkmale unterscheiden*, und fand auf der Ebene der Beschreibungsaufgaben statt. Das bedeutet, dass die Merkmalsausprägungen der Studierenden je Beschreibung analysiert wurden. Dabei werden Zusammenhänge zwischen den Aufgabenmerkmalen (*Komplexität* und *Transparenz*) untersucht. Wie in Kapitel 7.5 erläutert wurde, konnten bei der Auswahl der Phänomene die unterschiedlichen Aufgabenmerkmale nicht systematisch variiert und kontrolliert werden. Da andere Aufgabenmerkmale einen Einfluss auf die Merkmalsausprägungen der Beschreibungen haben konnten, wurde an dieser Stelle von inferenzstatistischen Verfahren abgesehen. Eine deskriptive Analyse der Beschreibungsmerkmale auf Aufgabenebene erlaubte eine tiefere Exploration und feinere Auflösung des Zusammenhangs zwischen Beschreibung- und Aufgabenmerkmalen.

11.1 UNTERSUCHUNGSVARIABLEN DER STUDIE

Anhand der durch das Analyseverfahren entstandenen Kodierungen wurden die Häufigkeiten des Vorkommens der Beschreibungsmerkmale bestimmt. Dadurch entstanden für jede Beschreibung pro Person eine Merkmal-Charakteristik mit nachfolgenden Kenngrößen (Tabelle 30).

Tabelle 30 Übersicht der Kenngrößen der Untersuchungsvariablen einer Beschreibung pro Person

Beschreibungsmerkmal	Kenngrößen der Untersuchungsvariablen	
Anzahl Informationen	Anzahl der Kernaussagen	
Komplexität	Anzahl Fakten	
	Anzahl Zusammenhänge	
Theoretischer Bezug	Anzahl Fakten auf Modellebene	Anzahl Aussagen auf Modellebene
	Anzahl Zusammenhänge auf Modellebene	
	Anzahl Fakten auf Situationsebene	Anzahl Aussagen auf Situationsebene
	Anzahl Zusammenhänge auf Situationsebene	
Spezifität	Anzahl spezifische Fakten	Anzahl spezifische Aussagen
	Anzahl spezifischer Zusammenhänge	
	Anzahl unspezifische Fakten	Anzahl unspezifische Aussagen
	Anzahl unspezifischer Zusammenhänge	
Linearisierung	Relative Häufigkeit an Kernaussagen über Wechselwirkung zwischen Licht und Materie	

Die *Linearisierung* wurde anhand der relativen Anzahl an Kernaussagen über Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie berechnet. Hierzu zählten Kernaussagen der Aussagetypen (Kap. 8.3) ‚Aussagen über Licht‘, ‚Aussagen über Materie‘ und ‚Aussagen über Größen‘. Es wurde angenommen, dass eine Beschreibung, mit einem hohen Anteil an Kernaussagen über Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie eine *Linearisierung* gemäß des Wechselwirkungskonzepts aufwies (Kapitel 8.4.3). Wohingegen Beschreibungen mit einem hohen Anteil an ‚Aussagen über Phänomen‘ und ‚Aussagen Objekt/Materie interagiert mit Objekt/Materie‘ eine andere Form der *Linearisierung* aufzeigte, wie beispielsweise eine referenzielle Bewegung entlang des Bildes (z. B. Vordergrund/Hintergrund). Da die Anzahl der Aussagen über Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie mit der Anzahl der Kernaussagen zusammenhing, wurde bei den Analysen die relative Häufigkeit verwendet (Anzahl der Kernaussagen über Wechselwirkungen/Anzahl der Kernaussagen).

Durch das Bilden der Summe aus der Anzahl an *spezifischen Fakten* und *Zusammenhängen* wurde die Untersuchungsvariable *Anzahl an spezifischen Aussagen* gebildet und erfolgt analog für *unspezifische Aussagen*, *Aussagen auf Modellebene* und *Situationsebene* (Tabelle 30).

Da die Variablen mit der Gesamtanzahl an *Fakten* und *Zusammenhängen* verknüpft waren, wurden zur Analyse die relativen Häufigkeiten dieser Variablen gebildet (Tabelle 31). Dieses Maß gibt das Verhältnis zwischen *spezifischen* und *unspezifischen Aussagen* sowie das Verhältnis von *Aussagen auf der Modellebene* und *Situationsebene* einer Beschreibung an und ließ sich dadurch leichter interpretieren²⁰.

Tabelle 31 Übersicht der aggregierten Kenngrößen theoretischer Bezug und Spezifität einer Beschreibung pro Person.

Beschreibungsmerkmal	Aggregierte Kenngrößen der Untersuchungsvariablen			
Theoretischer Bezug	Relative Häufigkeit	Fakten	auf	
	Modellebene			Relative Häufigkeit Aussagen auf
	Relative Häufigkeit	Zusammenhänge	auf	Modellebene
	Modellebene			
	Relative Häufigkeit	Fakten	auf	
	Situationsebene			Relative Häufigkeit Aussagen auf
Spezifität	Relative Häufigkeit	Zusammenhänge	auf	Situationsebene
	Situations-ebene			
	Relative Häufigkeit spezifische	Fakten		
	Relative Häufigkeit spezifischer	Zusammenhänge		Relative Häufigkeit spezifische Aussagen
	Relative Häufigkeit unspezifische	Fakten		
	Relative Häufigkeit unspezifischer	Zusammenhänge		Relative Häufigkeit unspezifische Aussagen

Die dargestellten Kenngrößen wurden bei den Untersuchungen des **Analysefokus II** untersucht, wohingegen bei den Untersuchungen zu **Analysefokus I** die Mittelwerte über alle Beschreibungen einer Person analysiert wurden.

²⁰ Es können dadurch Interpretationen vorgenommen werden, wie: „Die Beschreibungen enthalten vorwiegend Aussagen auf der Modellebene“ oder „Die Beschreibungen enthalten ein ausgewogenes Verhältnis an spezifischen und unspezifischen Aussagen“

11.2 STICHPROBENBESCHREIBUNG

Gesamtstichprobe (N = 28)

Die Gesamtstichprobe umfasst 23 Physiklehramtsstudierende und fünf weitere Studierende, welche die Optik Vorlesung im Rahmen des Studiums Generale des Zwei-Fach-Bachelorstudiengangs im Sommersemester 2019 besuchten und Physik daher nicht als Studienhauptfach belegten (Tabelle 32 & Tabelle 33).

Die Stichprobe wies bezüglich der *Expertise-Merkmale* ‚Hauptfach Physik‘ und, ‚Physik in der Oberstufe‘ nur wenig Varianz auf, weswegen von einer weiteren Analyse dieser Merkmale im Rahmen der Auswertung abgesehen wurde. Das Merkmal ‚Optikvorlesung besucht‘ wies im Gegensatz eine ausreichende Varianz auf, da 25 % der Studierenden die Optikvorlesung nicht besucht haben. Daher wurde das Merkmal neben der *deklarativen Modellkompetenz* als *Expertise-Merkmal* berücksichtigt.

Tabelle 32 Alter, Fachsemester, DekMo der Teilstichprobe DekMo

	Mittelwert	Median	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum
Alter	23.36	22.00	4.07	20.00	37.00
Fachsemester	3.28	4.00	1.30	0.00	5.00
Dekmo in %	54.05	60.00	21.57	1.33	93.33

Tabelle 33 Geschlecht, Hauptfach, Physik in der Oberstufe, Vorbildung, Optikvorlesung besucht der Teilstichprobe DekMo

Merkmal	Häufigkeit	Prozent	
Geschlecht	männlich	19	67.9
	weiblich	9	32.1
Hauptfach Physik	ja	23	82.1
	nein	5	17.9
Physik in der Oberstufe	Leistungskurs	16	57.1
	Grundkurs	8	28.6
	Kein Physik	4	14.3
Vorbildung	Berufsausbildung	2	7.1
	Studium	1	3.6
Optikvorlesung besucht	ja	21	75
	nein	7	25

Teilstichprobe theoretischer Bezug und Spezifität (N = 15)

Diese Teilstichprobe umfasst das Datenmaterial, das mit dem Merkmal *theoretischer Bezug* und *Spezifität* kodiert wurde. Die Teilstichprobe weist ähnliche Kennwerte wie die Gesamtstichprobe auf. In dieser Teilstichprobe sind jedoch nur noch Studierende mit Physik als Hauptfach enthalten (Tabelle 34 & Tabelle 35).

Tabelle 34 Alter, Fachsemester, DekMo der Teilstichprobe theoretischer Bezug und Spezifität

	Mittelwert	Median	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum
Alter	23.33	22.00	4.48	20.00	37.00
Fachsemester	3.73	4	0.70	2	5
Dekmo in %	61.33	66.67	22.56	13.33	93.33

Tabelle 35 Geschlecht, Hauptfach, Physik in der Oberstufe, Vorbildung, Optikvorlesung besucht der Teilstichprobe Spezifität und DekMo

Merkmal		Häufigkeit	Prozent
Geschlecht	männlich	12	80.0
	weiblich	3	20.0
Hauptfach Physik	ja	15	100
	nein	0	0
Physik in der Oberstufe	Leistungskurs	10	66.7
	Grundkurs	3	20.0
	Kein Physik	2	13.3
Vorbildung	Berufsausbildung	2	7.1
	Studium	1	3.6
Optikvorlesung besucht	ja	11	73.3
	nein	4	26.7

Bearbeitungszeiten Präsenz vs. Digital

Die durchschnittliche Bearbeitungszeit ist bei den Studierenden, die digital an der Studie teilgenommen haben, doppelt so lang wie bei den Studierenden, die in Präsenz an der Studie teilgenommen haben (Tabelle 36). Insgesamt stand den Studierenden in Präsenz 90 min zur Bearbeitung der Beschreibungsaufgaben zur Verfügung. Die maximale Bearbeitungszeit in Präsenz lag bei Max = 63,72 min. Somit stand allen Studierenden genügend Bearbeitungszeit zur Verfügung.

Tabelle 36 Durchschnittliche Bearbeitungsdauer in Minuten der beiden Erhebungsformate, digital und Präsenz

Erhebungsform	MW	SD	MD	MIN	MAX
Digital	80.68	35.08	80.73	5.03	163.87
Präsenz	38.08	12.04	37.83	25.97	63.72

12 ANALYSEFOKUS 1: ZUSAMMENHANG EXPERTISE UND MERKMALE EINER BESCHREIBUNG

In diesem Abschnitt wird untersucht, wie sich die Beschreibungen hinsichtlich der Beschreibungsmerkmale bei Studierenden mit unterschiedlicher *Expertise* (Besuch der Optik Vorlesung und deklarative Modellkompetenz) unterscheiden. Dies erfolgte in drei Schritten: Es wurden zuerst Unterschiede hinsichtlich der Beschreibungsmerkmale *Komplexität*, *Anzahl der Kernaussagen* und *Linearisierung* in Abhängigkeit des Expertise-Merkmals *deklarativen Modellkompetenz untersucht*. Auf Basis dieser Untersuchungen wurde die Teilstichprobe generiert, anhand derer der *theoretische Bezug* und die *Spezifität* ebenfalls in Abhängigkeit der *deklarativen Modellkompetenz* untersucht wird. Anschließend wurden die Unterschiede in den Beschreibungsmerkmalen hinsichtlich des zweiten Expertise-Merkmals *Besuch der Optikvorlesung* untersucht.

12.1 DESKRIPTIVE STATISTIK: DEKLARATIVE MODELLKOMPETENZ KOMPLEXITÄT, ANZAHL DER KERNAUSSAGEN UND LINEARISIERUNG

Es wurden zunächst die deskriptiven Statistiken und Verteilungen der Variablen analysiert, um geeignete statistische Verfahren auszuwählen. Da es sich mit $N = 28$ um eine kleine Stichprobe handelt, könnten statistische Verfahren zur Bestimmung der Normalverteilung (Shapiro-Wilk & Kolmogorov-Smirnov) unzuverlässig sein (Jurgen Bortz et al., 2008). Daher wurden auch grafische Methoden wie Quantil-Quantil-Diagramme und deskriptive Maße der Schiefe und Kurtosis in die Interpretation der Verteilung einbezogen.

Verteilung deklarative Modellkompetenz

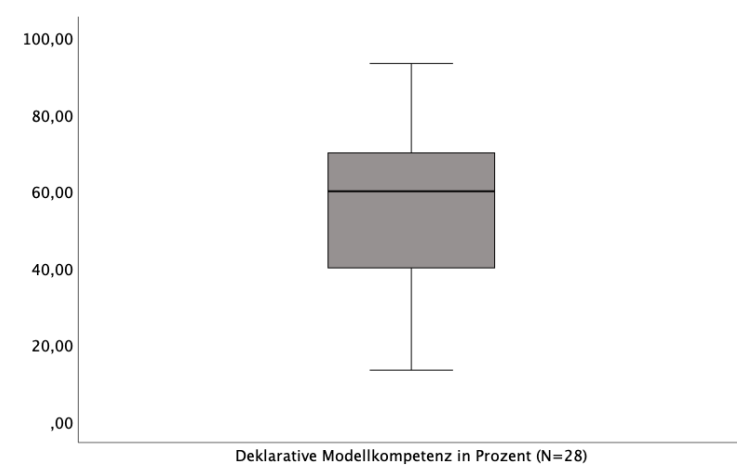


Abbildung 27 Boxplot Verteilung deklarative Modellkompetenz in Prozent (N=28)

Die *deklarative Modellkompetenz* wurde durch die im Test erzielte Punktzahl prozentual zur möglichen Maximalpunktzahl angegeben. Die *deklarative Modellkompetenz* ($MW = 54.04$; $SD = 21.57$) der Studierenden variierte von 13.33 % bis 93.33 % (Abbildung 29). Bei der Hälfte der Studierenden überstieg die deklarative Modellkompetenz 60 %. Es gibt in den Daten zwar keine signifikanten Ausreißer, allerdings zeigte sich eine rechtsschiefe Verteilung (Schiefe = .499) und die Kurve der Verteilung ist eher flach (Kurtosis = -.644). Die Tests nach Kolmogorov-Smirnov und Shapiro-Wilk führten zur Ablehnung der Hypothese einer Normalverteilung. Weiterhin lagen die Q-Q-Diagramme, bedingt durch die ausgeprägte Streuung um den Mittelwert, nahe, dass die Daten nicht normalverteilt sind.

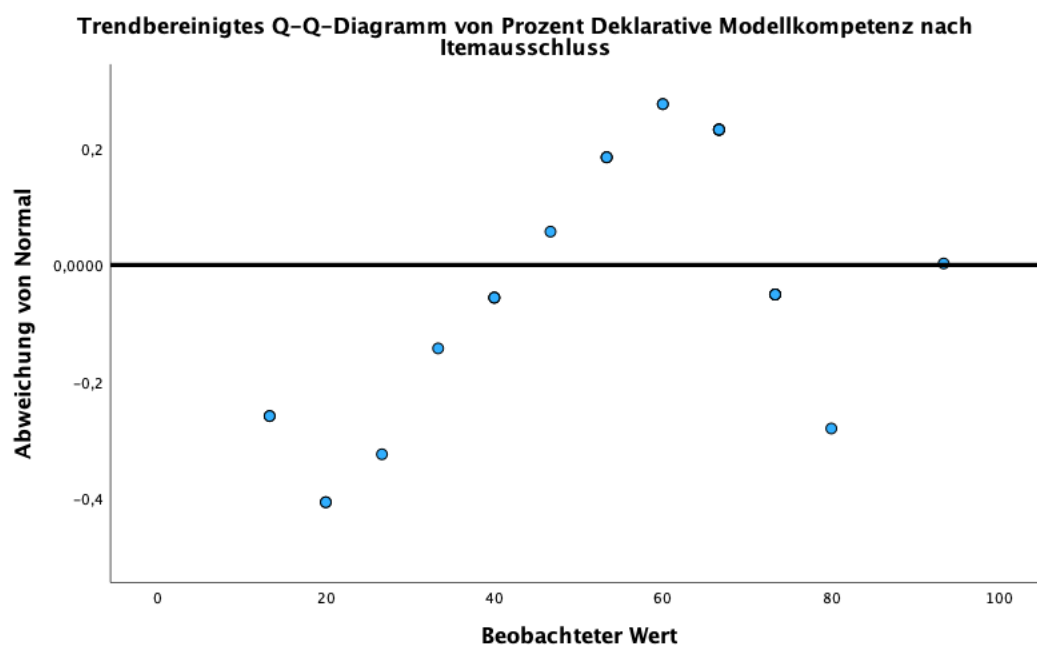


Abbildung 28 Trendbereinigtes Q-Q-Diagramm von der deklarativen Modellkompetenz

Verteilung Komplexität und Kernaussagen

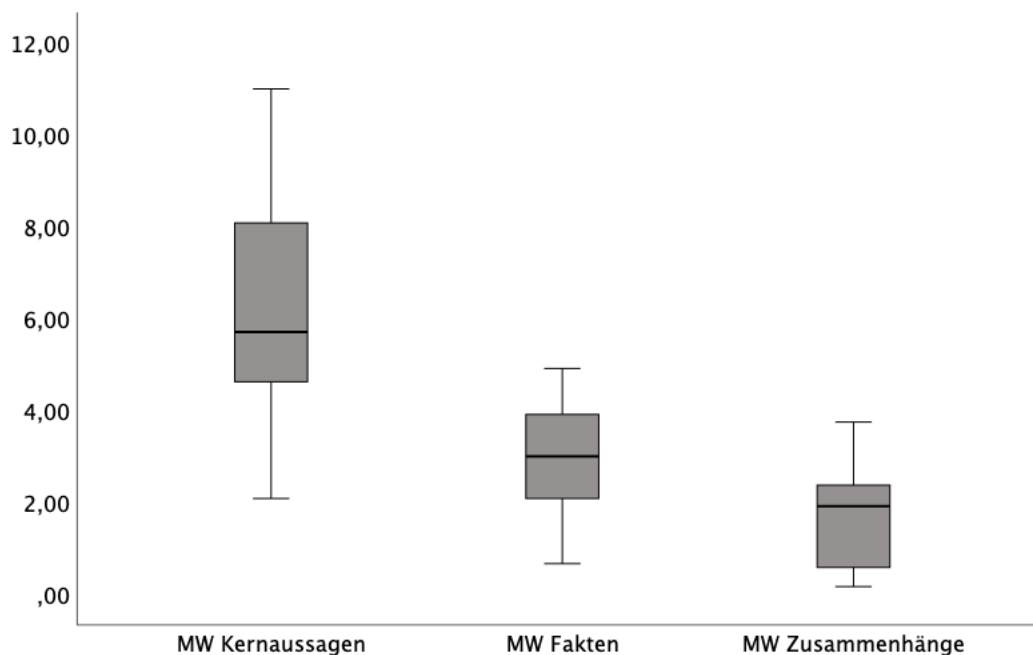


Abbildung 29 Boxplots mittlere Anzahl der Kernaussagen, Fakten und Zusammenhänge (N=28)

Das Beschreibungsmerkmal *Komplexität* wurde durch die mittlere Anzahl der formulierten *Fakten* und *Zusammenhänge* je Beschreibungsaufgabe (Gesamtanzahl Zusammenhang oder Fakt/Anzahl der Beschreibungen) charakterisiert. Die *mittlere Anzahl an Kernaussagen* ergab sich nicht zwangsläufig aus der Summe von *Fakten* und *Zusammenhängen*, da *Zusammenhänge* durch ‚und-Verknüpfungen‘ mehr als nur zwei *Kernaussagen* enthalten können.²¹

Die mittlere Anzahl von Kernaussagen je Beschreibungsaufgabe lag bei $MW = 6.24$ ($SD = 2.46$; $MD = 5.70$; $MIN = 2.08$; $MAX = 11.00$) und wies eine große Spannweite auf. Im Mittel wurden mehr Fakten ($MW = 2.97$; $SD = 1.08$; $MIN = .67$; $MAX = 4.92$) als Zusammenhänge ($MW = 1.66$; $SD = 1.08$; $MIN = .17$; $MAX = 3.75$) in einer Beschreibung formuliert (Tabelle 37).

²¹ Beispiel: Aufgrund der höheren Frequenz und der höheren Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts im Medium, wird das Licht gebrochen. Licht besitzt Frequenz + Licht hat Ausbreitungsgeschwindigkeit + Licht wird gebrochen = 3 Kernaussagen.

Tabelle 37 Deskriptive Statistik mittlere Anzahl der Kernaussagen, Fakten und Zusammenhänge

Mittlere Anzahl von Fakten		
Statistik		Standard Fehler
Mittelwert	2.9732	.22412
95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	2.5134
	Obergrenze	3.4331
Median	3.0000	
Varianz	1.406	
Standard Abweichung	1.18592	
Minimum	.67	
Maximum	4.92	
Spannweite	4.25	
Schiefe	-.258	.441
Kurtosis	-.776	.858
Mittlere Anzahl an Kernaussagen		
Statistik		Standard Fehler
Mittelwert	1.6637	.20428
95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	1.2445
	Obergrenze	2.0828
Median	1.9167	
Varianz	1.168	
Standard Abweichung	1.08095	
Minimum	.17	
Maximum	3.75	
Spannweite	3.58	
Schiefe	.254	.441
Kurtosis	-1.107	.858
Mittlere Anzahl an Kernaussagen		
Statistik		Standard Fehler
Mittelwert	6.2411	.46588
95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	5.2852
	Obergrenze	7.1970
Median	5.7083	
Varianz	6.077	
Standard Abweichung	2.46523	
Minimum	2.08	
Maximum	11.00	
Spannweite	8.92	
Schiefe	.295	.441
Kurtosis	-.831	.858

Gemäß dem Test auf Normalverteilung waren die *mittlere Anzahl der Kernaussagen*, *Fakten* und *Zusammenhänge* normalverteilt (Shapiro-Wilk und Kolmogorov-Smirnov), $p > .05$. Bei kleinen Stichproben waren statistische Verfahren zur Prüfung der Normalverteilung nicht sensitiv. Betrachtet man jedoch Schiefe und Kurtosis der Variablen, dann deuteten diese darauf hin, dass die Daten nicht normalverteilt sind, da die Merkmale deutlich größer oder kleiner null verliefen. Diese Annahme konnte durch die Interpretation der Q-Q-Diagramme gestützt werden (Abbildung 30Abbildung 32), da sie eine große Streuung um den erwarteten Normalwert aufwiesen.

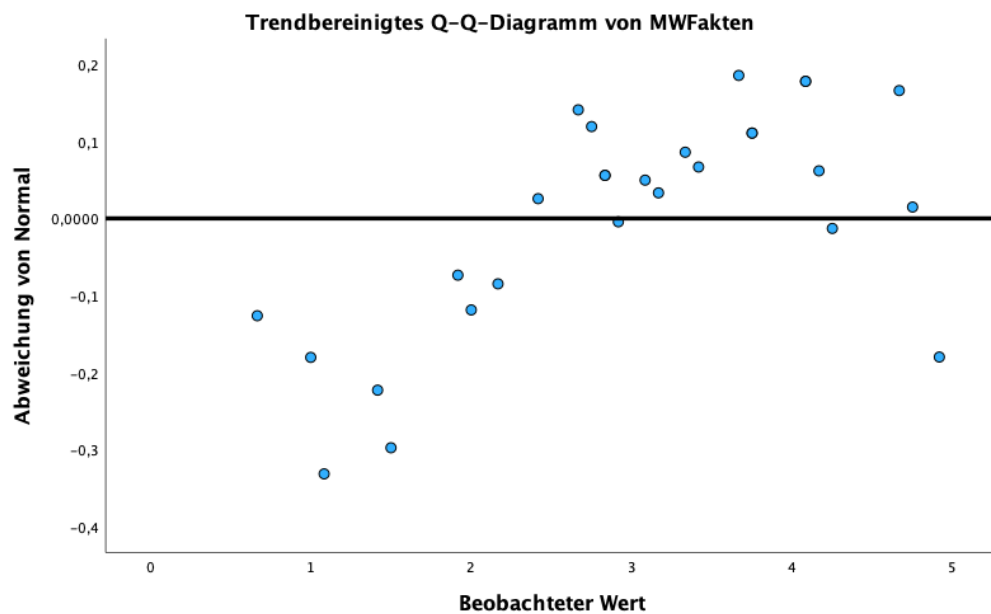


Abbildung 30 Trendbereinigtes Q-Q Diagramm mittlere Anzahl Fakten

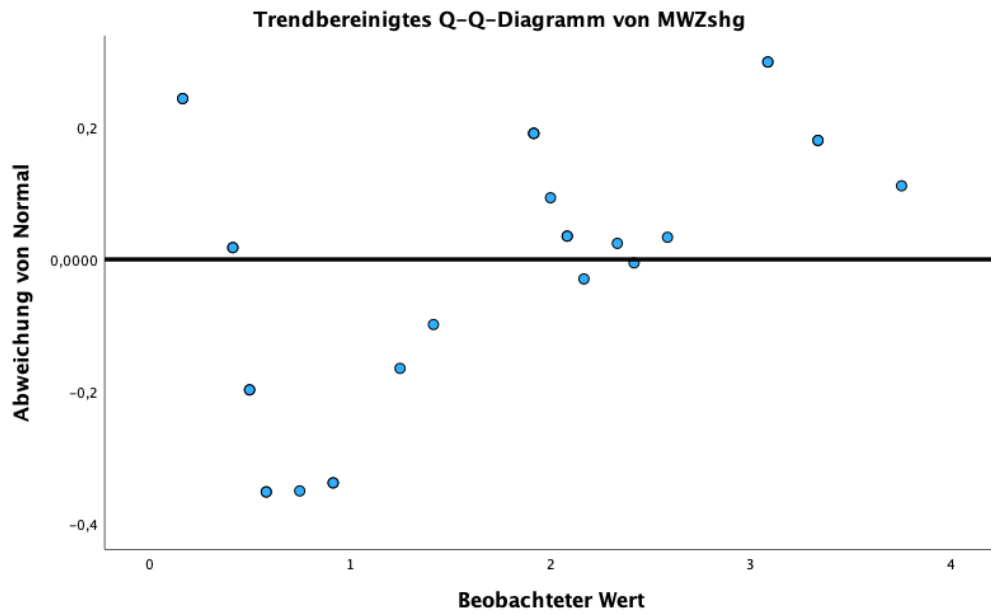


Abbildung 31 Trendbereinigtes Q-Q Diagramm mittlere Anzahl von Zusammenhängen

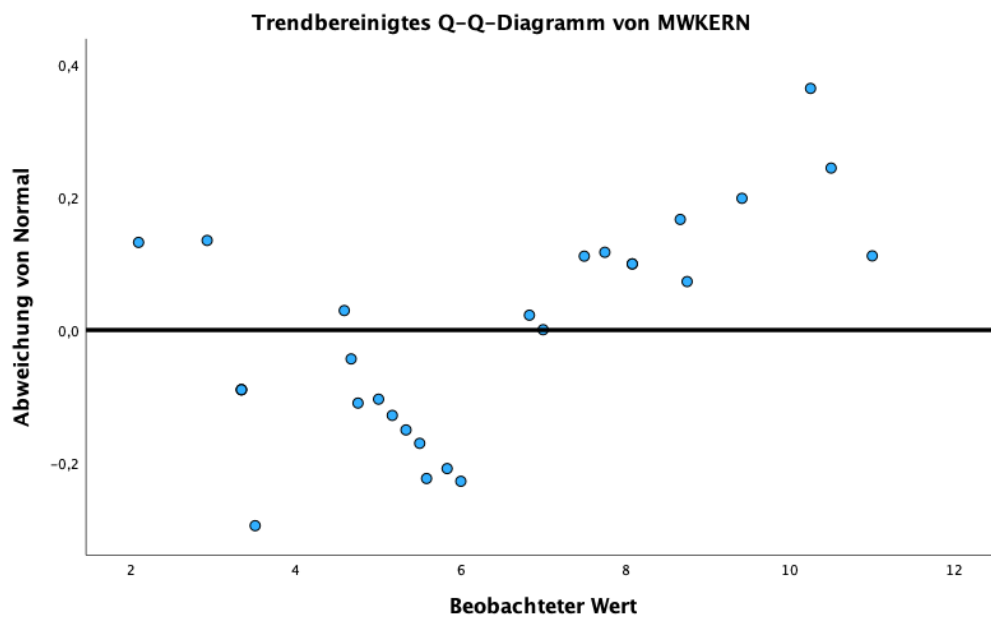


Abbildung 32 Trendbereinigte Q-Q-Diagramme der mittleren Anzahl von Fakten. Zusammenhängen und Kernaussagen.

Verteilung Linearisierung

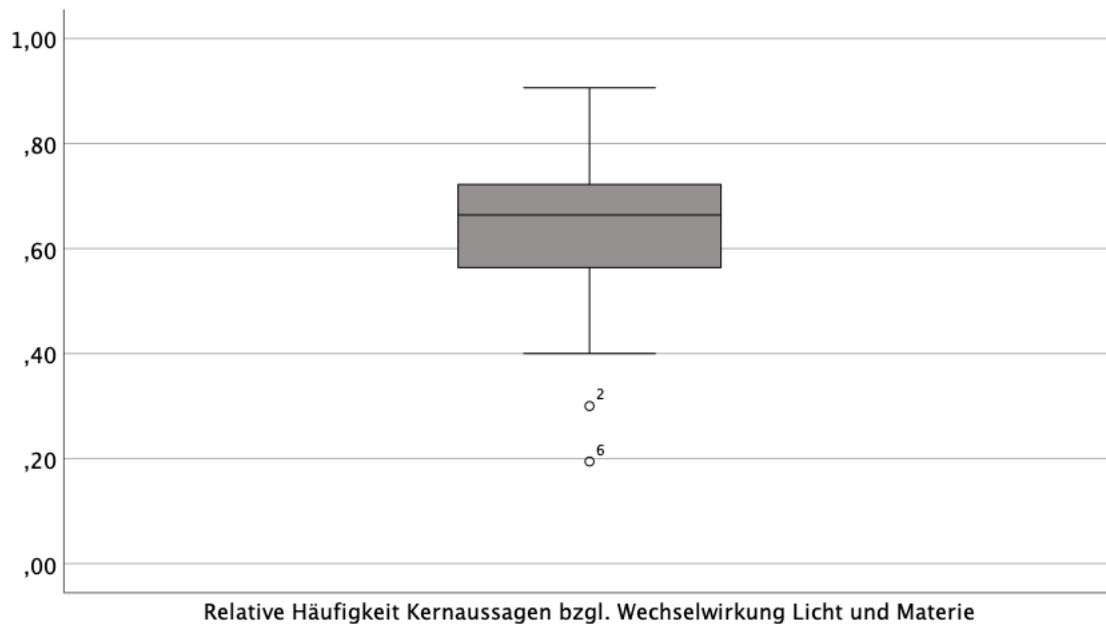


Abbildung 33 Verteilung der Kernaussagen über Wechselwirkung zwischen Licht und Materie

Die *Linearisierung* wurde anhand der relativen Anzahl an Kernaussagen über Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie berechnet (Kap. 11.1).

Die *Linearisierung* der Beschreibung wies eine große Spannweite mit zwei Ausreißern auf ($MW = .63$; $SD = .15$; $MD = .66$; $MIN = .19$; $MAX = .91$), wobei der Interquartilsabstand gering blieb, was auf eine niedrige Varianz innerhalb der Daten schließen ließ. Kurtosis und Schiefe signalisierten eine Abweichung von der Normalverteilung. Diese Einschätzung wurde durch Tests auf Normalverteilung wie Shapiro-Wilk und Kolmogorov-Smirnov abermals bestätigt ($p > .05$, Shapiro-Wilk und Kolmogorov-Smirnov).

Tabelle 38 Deskriptive Statistik relative Häufigkeit Kernaussagen über Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie

Relative Anzahl der Kernaussagen über Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie		
Statistik		Standard Fehler
Mittelwert		.6331
95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	.5711
	Obergrenze	.695
Median		.664
Varianz		.025
Standard Abweichung		.15967
Minimum		.19
Maximum		.91
Spannweite		.71
Schiefe		-1.013
Kurtosis		.17

Insgesamt wurde daher angenommen, dass bei der *deklarativen Modellkompetenz* und der *mittleren Anzahl von Kernaussagen, Fakten und Zusammenhängen* sowie der *Linearisierung* keine Normalverteilung vorliegt. Dies bedeutet, dass bei der Analyse von Zusammenhängen zwischen der *deklarativen Modellkompetenz*, der *Komplexität* und der *Anzahl der Kernaussagen* nicht parametrische Testverfahren verwendet wurden. Zur Feststellung signifikanter Unterschiede bei Beschreibungen von Studierenden ‚hoher‘ und ‚niedriger‘ *deklarativen Modellkompetenz* wurde der Mann-Whitney-U-Test verwendet. Anschließend wurden Korrelationsanalysen nach Spearmans Roh durchgeführt, um festzustellen, wie viel der Varianz in den Merkmalen durch die *deklarative Modellkompetenz* aufgeklärt werden kann.

Die Einteilung in zwei Gruppen nach ‚hohe‘ und ‚niedrige‘ *deklarative Modellkompetenz* erfolgte über einen Median-Split. Dies hat den Vorteil, dass eine gleichmäßige Gruppeneinteilung erreicht wird. Der Nachteil bei diesem Verfahren ist die eingeschränkte Generalisierbarkeit der Ergebnisse, da die Einteilung gebunden an die Stichprobe ist. Außerdem gilt bei der Interpretation zu beachten, dass ‚hoch‘ einen großen Bereich abbildet (60-93 %) und daher nicht mit einer normativen Bewertung von ‚gut‘ und ‚schlecht‘ einhergehen sollte. Es konnten also diesbezüglich nur Aussagen der Form, Studierende mit *höherer* oder *niedriger* *deklarativen Modellkompetenz*, getroffen werden. Dies stellte aber hinsichtlich des Ziels der Arbeit, Hypothesen zu generieren, keine Einschränkung dar.

12.2 GRUPPENVERGLEICH ‚HOHE‘ UND ‚NIEDRIGE‘ DEKLARATIVE MODELLKOMPETENZ

In diesem Abschnitt wird untersucht, ob sich die *mittlere Anzahl an Kernaussagen, Fakten und Zusammenhänge* bei Studierenden mit ‚niedriger‘ und ‚hoher‘ *deklarativen Modellkompetenz* unterscheiden. Hierzu wurde der Mann-Whitney-U-Test verwendet. Zuerst wurden die Daten z-standardisiert, um die Verteilung innerhalb der Gruppen zu prüfen. Bei einer annähernd gleichen Verteilung innerhalb der Gruppen, konnten Aussagen über die Unterschiede in den Medianen beider Gruppen getroffen werden, wohingegen bei verschiedenen Verteilungen nur Aussagen über Rangunterschiede getroffen werden konnten.

Die Kolmogorov-Smirnov-Z-Statistik (K-S-Z) deutete darauf hin, dass die Verteilungsform der beiden Gruppen für die *mittlere Anzahl der Kernaussagen, Fakten und Zusammenhänge* ähnlich waren, $p > .05$. Hinsichtlich der *Linearisierung* war die Verteilung beider Gruppen nicht ähnlich, $p < .05$. Da die K-S-Z-Statistik bei kleinen Stichproben Signifikanzen nicht zuverlässig erfasst, wurden zusätzlich grafische Methoden zum Vergleich der Verteilungen genutzt. Betrachtet wurde die Lage des Medians innerhalb der Quantile der Boxplots. Bei einer ähnlichen Verteilung der Gruppen sollte die Lagebeziehung beider Boxplots ähnlich sein. Dies war für die mittlere Anzahl der *Kernaussagen, Fakten und Zusammenhänge* erfüllt (Abbildung 34/Abbildung 36).

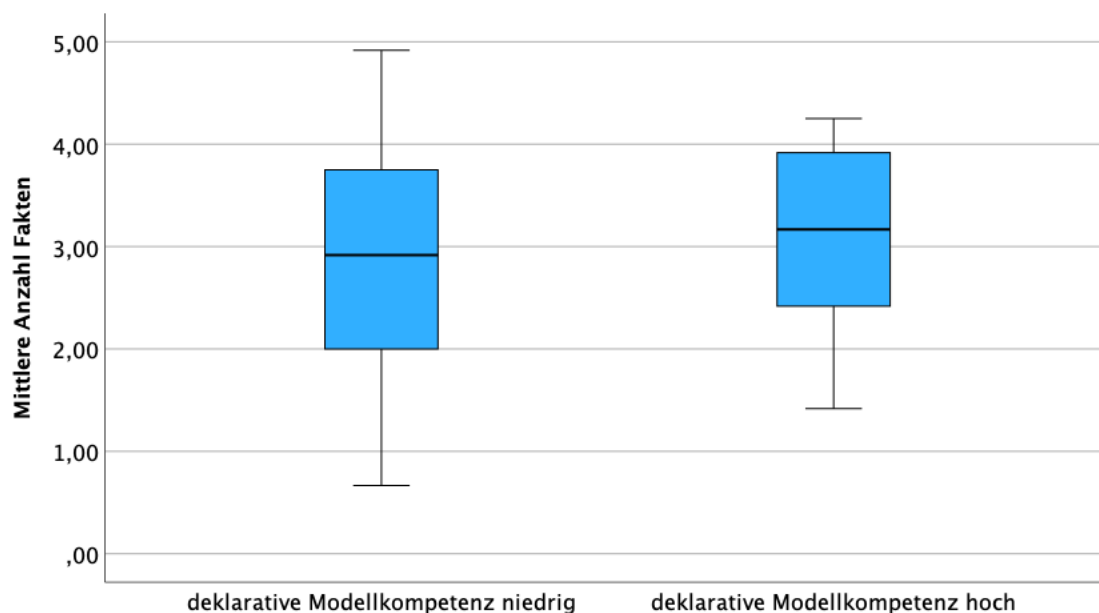


Abbildung 34 Verteilung der mittleren Anzahl an Fakten je Gruppe (deklarative Modellkompetenz (niedrig-hoch))

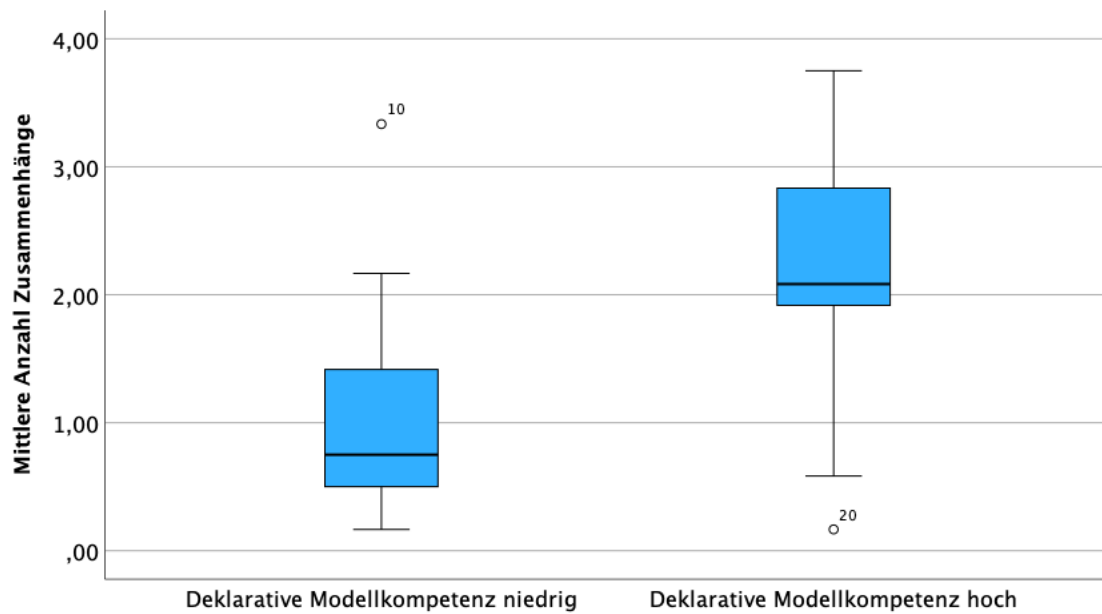


Abbildung 35 Verteilung der mittleren Anzahl an Zusammenhängen je Gruppe deklarative Modellkompetenz (niedrig-hoch)

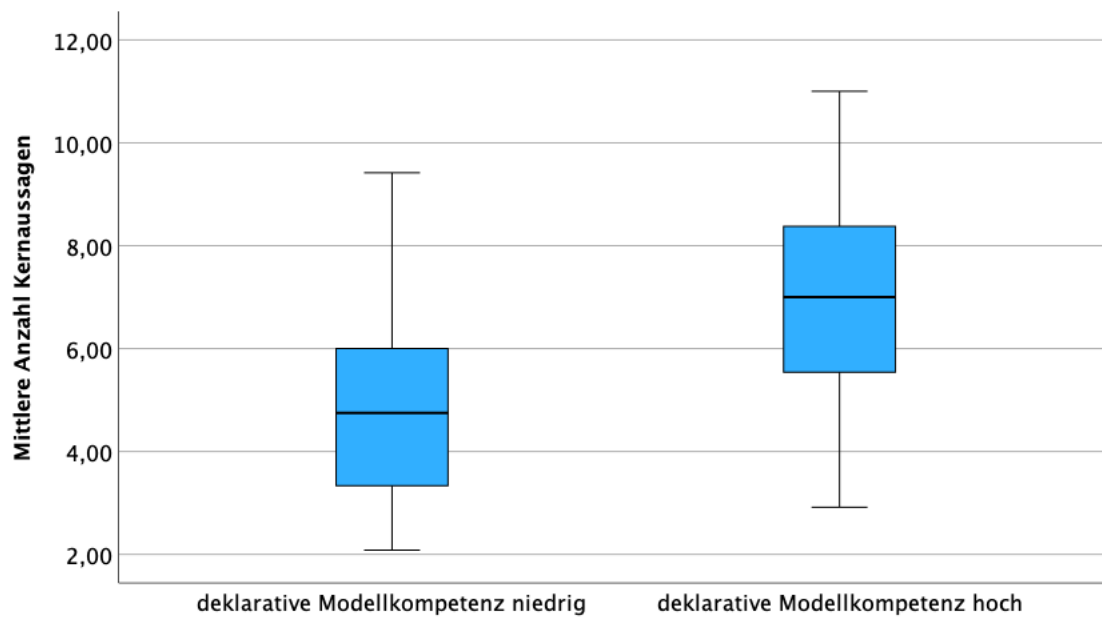


Abbildung 36 Verteilung der mittleren Anzahl an Kernaussagen je Gruppe deklarative Modellkompetenz (niedrig-hoch)

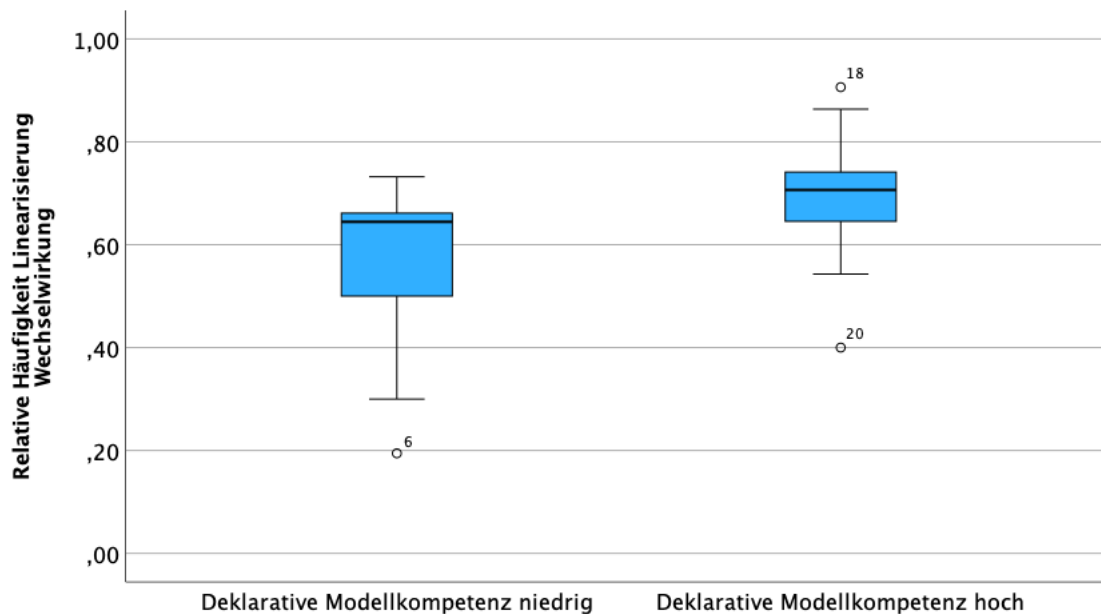


Abbildung 37 Verteilung der relativen Häufigkeit der Linearisierung nach Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie je Gruppe mit deklarativer Modellkompetenz (niedrig-hoch)

Die Analyse der Boxplots zeigte auf, dass sowohl bei der mittleren *Anzahl an Zusammenhängen* als auch bei der *Linearisierung* Ausreißer vorlagen. Insgesamt konnte von einer ähnlichen Verteilung innerhalb der Gruppen bezüglich der *mittleren Anzahl der Kernaussagen, Fakten* und *Zusammenhänge* angenommen werden. Zudem konnte der Mann-Whitney-U-Test dazu genutzt werden, um Unterschiede der Mediane zu beurteilen. Die Verteilung der relativen Häufigkeiten bezüglich der *Linearisierung* wies jedoch keine ähnliche Verteilung zwischen den Gruppen auf, daher wurden diesbezüglich die Ränge beider Gruppen berichtet.

Die Mediane der mittleren Anzahl der Kernaussagen unterschieden sich signifikant bei Studierenden mit ‚niedriger‘ ($MD = 4.75$) und ‚hoher‘ ($MD = 7.19$) *deklarativen Modellkompetenz*, $U = 50.00$, $Z = -2.190$, $p = .29$, $R^2 = .17$. Ebenso unterschieden sich die *mittlere Anzahl von Zusammenhängen* (niedrig: $MD = .75$ und hoch: $MD = 2.08$), $U = 45.5$, $Z = -2.399$, $p = .015$, $R^2 = .20$ und der *Linearisierung* (niedrig: $M_{Rang} = 10.73$; hoch: $M_{Rang} = 17.77$), $U = 48.50$, $Z = -2.258$, $p < .05$, $R^2 = .18$.

Die Mediane der *mittleren Anzahl von Fakten* zeigten jedoch keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen, $U = 92.0$, $Z = -.253$, $p = .800$.

Nachfolgend wurden die beschriebenen Zusammenhänge der *mittleren Anzahl der Kernaussagen, Zusammenhänge, Linearisierung* und der *deklarativen Modellkompetenz* mit der Spearman-Korrelation näher analysiert. Dabei sollte überprüft werden, ob die deklarative Modellkompetenz eine notwendige Bedingung zur Anfertigung komplexer Beschreibungen

darstellt. Da keine Normalverteilung der Daten vorlag, war der Spearman-Korrelationskoeffizient dem Pearson-Korrelationskoeffizienten vorzuziehen (Jürgen Bortz & Schuster, 2010). Zusätzlich wurden die Lage der Daten von Streudiagrammen näher untersucht. Die Untersuchungen dienten zur Identifikation von Sonderfällen für die Generierung der Teilstichprobe, die zusätzlich mit den Merkmalen *theoretischer Bezug* und *Spezifität* kodiert und statistisch untersucht wurden.

12.3 KORRELATIONSANALYSEN DEKLARATIVE MODELLKOMPETENZ, KERNAUSSAGEN UND ZUSAMMENHÄNGE

Die Spearman-Korrelationsanalysen ergaben starke Korrelationen²² zwischen der *deklarativen Modellkompetenz* und der *mittleren Anzahl von Kernaussagen* ($\rho = .531, p < .001$) sowie der *mittleren Anzahl der Zusammenhänge* ($\rho = .505, p < .001$).

Die Korrelation zwischen der *deklarativen Modellkompetenz* und *Linearisierung* $\rho = .370, p = .053$ war nahe der Signifikanzschwelle.

Der Zusammenhang zwischen der *deklarativen Modellkompetenz*, der *mittleren Anzahl der Kernaussagen* und *Zusammenhänge* sowie der *Linearisierung* ist in den nachfolgenden Streudiagrammen visualisiert (Abbildung 38 bis Abbildung 40)

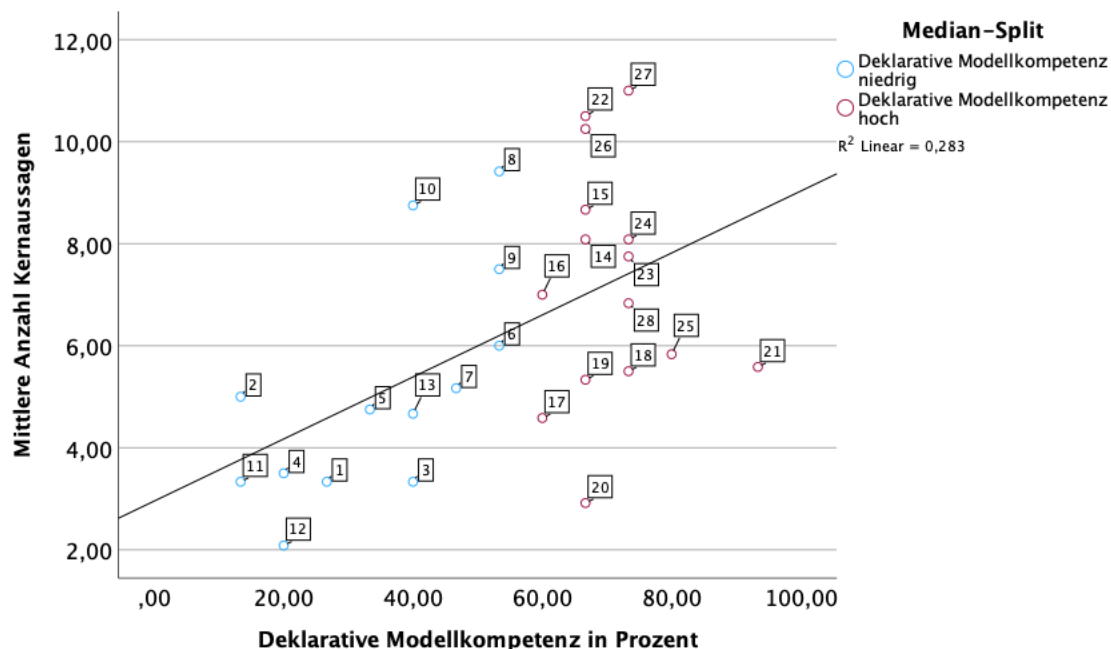


Abbildung 38 Streudiagramm deklarative Modellkompetenz und mittlere Anzahl von Kernaussagen

²² Nach Cohen (1988) geringe/schwache Korrelation $|\rho| = .10$; mittlere/moderate Korrelation $|\rho| = .30$; große/starke Korrelation $|\rho| = .50$

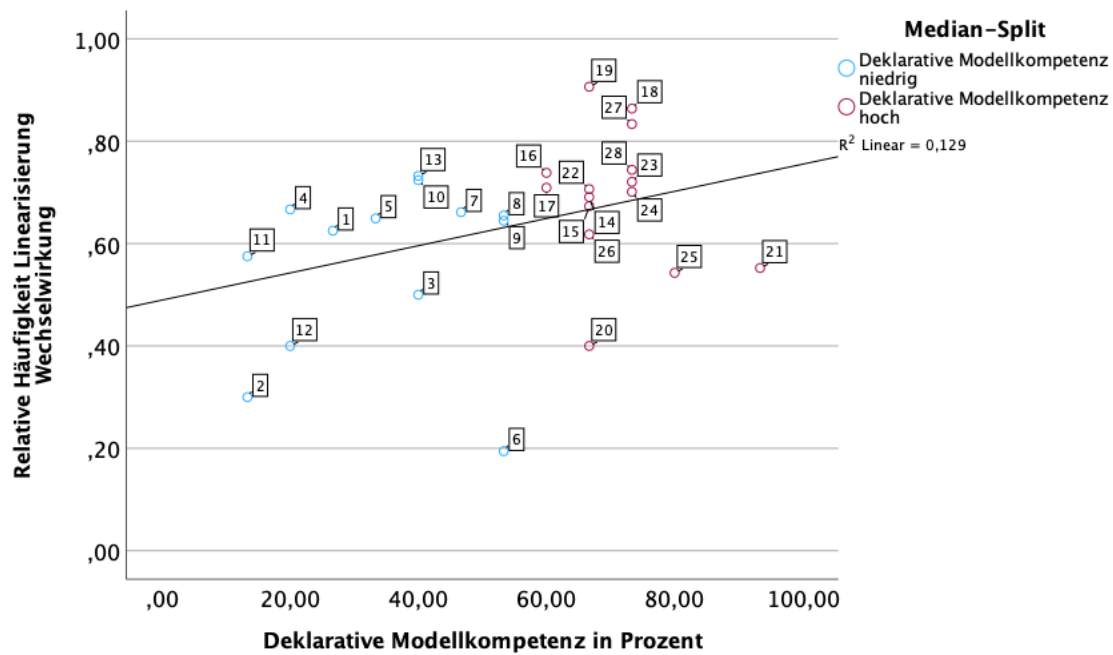


Abbildung 39 Streudiagramm deklarative Modellkompetenz und Linearisierung

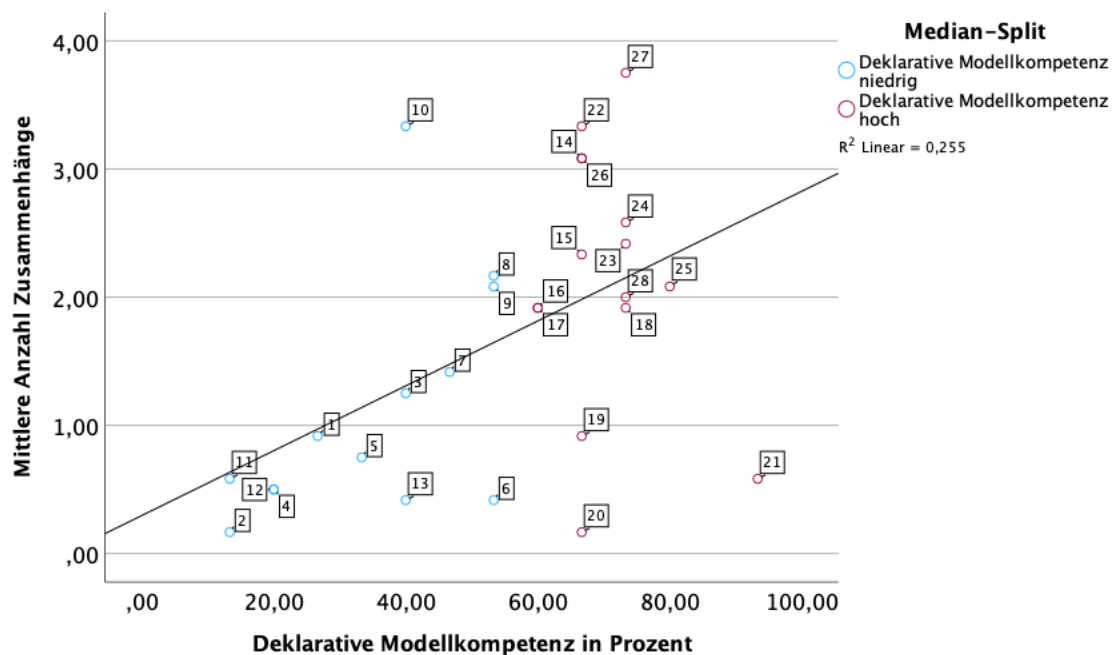


Abbildung 40 Streudiagramm deklarative Modellkompetenz und mittlere Anzahl von Zusammenhängen

Die Diagramme zeigen erwartungsgemäß einen monotonen Zusammenhang, wobei die *Linearisierung* eine geringere Steigung aufweist. Die Diagramme wurden um eine lineare Ausgleichsgerade ergänzt, um größere Abweichungen zu identifizieren. Dabei zeigen sich insbesondere bei *höherer deklarativer Modellkompetenz* zwei gegensätzliche Trends. Es sind sowohl größere Streuungen nach oben als auch nach unten zu beobachten. Dies deutet darauf

hin, dass die Varianz der Merkmale *Anzahl der Kernaussagen* und *Zusammenhänge* nur zu einem geringen Teil durch die *deklarative Modellkompetenz* aufgeklärt werden kann (Kernaussagen: $\rho^2 = .281$; Zusammenhänge: $\rho^2 = .255$). Die Varianz, die nicht durch die *deklarative Modellkompetenz* aufgeklärt werden kann, zeigt sich in den Fällen, die nach oben und unten hin vom Trend abweichen und sind dadurch für weitere Analysen hinsichtlich der *Spezifität* und *theoretischer Bezug* interessant. Bei der Erläuterung des Analyseverfahrens (Kap.8.4.2) wurde der *Theoretische Bezug* und die *Spezifität* als ein qualitätsunterscheidendes Merkmal von Fakten und Zusammenhängen interpretiert. Daher wurde weiterführend untersucht, ob die Abweichungen durch die Betrachtung *modellspezifischer Aussagen* und *Zusammenhänge* relativiert werden können. Hierzu erfolgte zunächst eine deskriptive Beschreibung und anschließend wurden die Zusammenhänge zwischen *deklarativer Modellkompetenz*, *des theoretischen Bezugs* und der *Spezifität* via Spearman-Korrelationen analysiert.

12.4 DESKRIPTIVE STATISTIK: DEKLARATIVE MODELLKOMPETENZ, THEORETISCHER BEZUG UND SPEZIFITÄT

Zur Analyse des Zusammenhangs zwischen der *deklarativen Modellkompetenz*, dem *theoretischen Bezug* und der *Spezifität* wurden Fälle ausgewählt (N = 15), die einerseits dem Trend der Ausgleichsgeraden (Abbildung 40) entsprechen (Tabelle 39 grüne Zeilen) und andererseits Fälle, die vom Trend Tabelle 39 abweichen (Tabelle 39 blaue und orange Zeilen).

Tabelle 39 Auswahl der Teilstichprobe (N=15) Deklarative Modellkompetenz und mittlere Anzahl an Zusammenhängen. Der blaue Bereich beschreibt Datenpunkte, die über der Ausgleichsgeraden liegen, der grüne Bereich die nahe oder auf der Ausgleichsgeraden liegen und der orangefarbene Bereich Daten, die unterhalb der Ausgleichsgeraden liegen

Nr.	ID	Deklarative Modellkompetenz	Mittelwert Zusammenhänge
27	BGL19W	73.33	3.75
10	MF5A	40	3.42
22	BBA07S	66.67	3.33
26	BFN04Z	66.67	3.08
24	IFM24A	73.67	2.58
23	PMS02L	73.33	2.42
25	KMP20S	80	2.08
28	GHA10K	73.33	2.00
18	GL18A	73.33	1.92
19	SF29A	66.67	0.92
11	IM31A	13.33	0.58
21	UM34E	93.33	0.58
12	PK39E	20	0.50
13	AG23A	40	0.42
20	AF31A	66.67	0.17

Verteilung mittlere Anzahl an Aussagen, theoretischer Bezug und Spezifität

Abbildung 41 stellt die Verteilung der *mittleren Anzahl an Aussagen* (Summe Fakten und Zusammenhänge) je Beschreibung hinsichtlich ihres *theoretischen Bezugs* (Modellebene vs. Sichtebene) und der *Spezifität* (spezifisch vs. unspezifisch) dar.

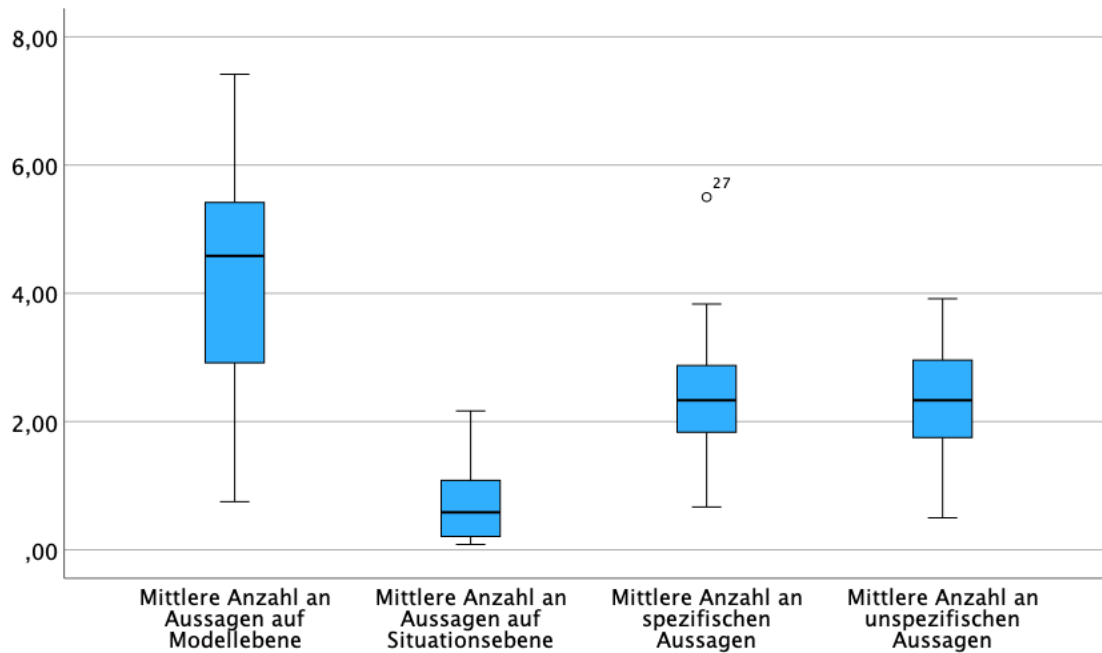


Abbildung 41 Verteilung der Aussagen hinsichtlich der Merkmale theoretischer Bezug und Spezifität

Im Durchschnitt formulierten die Studierenden häufiger *Aussagen auf einer Modellebene* ($MW = 4.07$, $SD = 1.99$, $MD = 4.5$, $MIN = .075$, $MAX = 7.42$) als auf der *Situationsebene* ($MW = .73$, $SD = .68$, $MD = .58$, $MIN = 0.08$, $MAX = 2.17$). Dabei wiesen die *Anzahl spezifischer Aussagen* ($MW = 2.51$, $SD = 1.19$, $MD = 2.33$, $MIN = .67$, $MAX = 5.50$) und *unspezifischer Aussagen* ($MW = 2.31$, $SD = .98$, $MD = 2.33$, $MIN = .50$, $MAX = 3.92$) keine größeren Unterschiede und Streuung um den Mittelwert auf.

Verteilung der relativen Häufigkeit hinsichtlich des theoretischen Bezugs und Spezifität

Abbildung 42 stellt die Verteilung der *relativen Häufigkeit der Aussagen* hinsichtlich ihres *Theoretischen Bezugs* (Modellebene vs. Sichtebe) und der *Spezifität* (spezifisch vs. unspezifisch) dar.

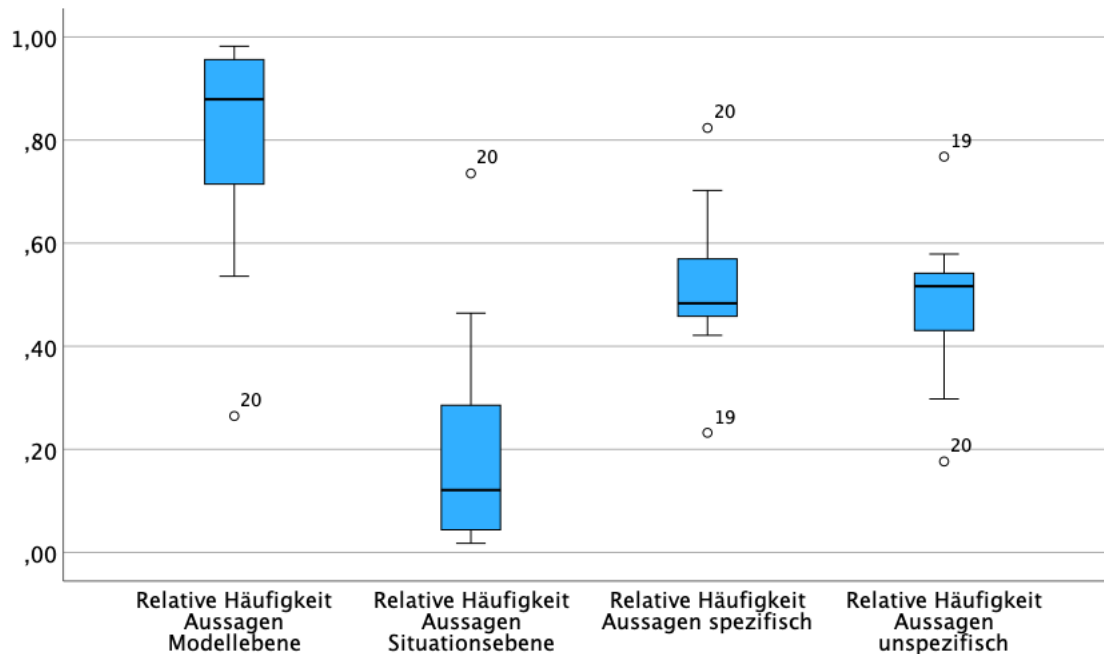


Abbildung 42 Verteilung der relativen Häufigkeiten von Aussagen hinsichtlich des theoretischen Bezugs und der Spezifität

Die Analysen der *relativen Häufigkeiten der Aussagen* zeigten erwartungsgemäß eine ähnliche Verteilung und Variabilität der Daten, wie auch die der Mittelwerte. Durch das Relativieren der Mittelwerte an der Anzahl der Aussagen konnte die Verteilung der Daten feiner aufgelöst werden. Dadurch ließen sich zwei Ausreißer identifizieren. Fall 20 schien in seinen Beschreibungen vorwiegend *spezifische Aussagen* auf der *Sichtebe* zu beschreiben, wohingegen Fall 19 überdurchschnittlich viele *unspezifische Aussagen* formulierte.

Insgesamt formulierten die Studierenden Aussagen vorwiegend auf einer *Modellebene* ($MW = .81$, $SD = .21$, $MD = .82$, $MIN = .26$, $MAX = .98$) und durchschnittlich ähnlich viele *spezifische Aussagen* ($MW = .52$, $SD = .13$, $MD = .48$, $MIN = .23$, $MAX = .82$) und *unspezifische Aussagen*. Wobei sich eine Tendenz zu *unspezifischen Aussagen* abzeichnete, die jedoch bei der geringen Variabilität der Daten nur wenig aussagekräftig war. Deswegen wurde nachfolgend die Kombination der Merkmale *Theoretischer Bezug* und *Spezifität* betrachtet. Es wurde dabei untersucht, ob es Unterschiede in Verteilung bezüglich der *Spezifität der Aussagen auf Modellebene* und *Situationsebene* gibt.

Verteilung modellspezifischer Aussagen

Abbildung 43 stellt die Verteilung der *relativen Häufigkeit der Aussagen* hinsichtlich Kombination der Merkmale *Theoretischer Bezug* und *Spezifität* dar.

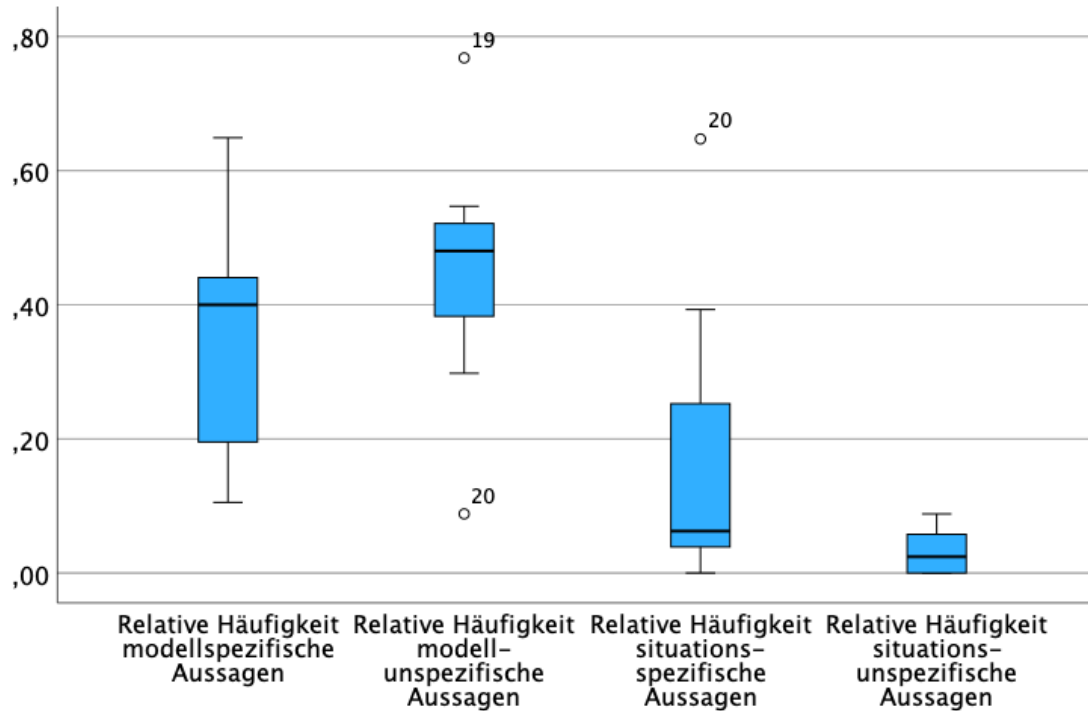


Abbildung 43 Verteilung modellspezifischer und unspezifischer Aussagen hinsichtlich der Model- und Situationsebene

Die Verteilung der Daten deutete darauf hin, dass die Studierenden vorwiegend *modellunspezifische Aussagen* ($MW = .45$, $SD = .14$, $MD = .48$, $MIN = .09$, $MAX = .77$) als *modellspezifische Aussagen* ($MW = .36$, $SD = .16$, $MD = .40$, $MIN = .11$, $MAX = .65$) tätigten. Dabei wiesen die *modellspezifischen Aussagen* eine höhere Streuung und Variabilität der Daten auf. Außerdem formulierten die Studierenden auf der *Situationsebene* häufiger *spezifische Aussagen* ($MW = .16$, $SD = .18$, $MD = .06$, $MIN = .00$, $MAX = .65$) als *unspezifische Aussagen* ($MW = .03$, $SD = .03$, $MD = .02$, $MIN = .00$, $MAX = .09$).

Nachfolgend wird dargestellt, wie die Verteilung der Merkmalsausprägung *theoretischer Bezug* und *Spezifität* in Bezug auf die *Komplexität* analysiert wurde. Insbesondere die Verteilung von *modellspezifischen* und *spezifischen Zusammenhängen* waren von Bedeutung, da sie wertvolle Informationen über die Qualität der beschriebenen Zusammenhänge lieferten²³ (Kap. 8.4.2).

²³ Unspezifische Zusammenhänge, sind nicht bezüglich Ursache/Wirkung ausdifferenziert, enthalten keine Informationen über abhängige und unabhängige Variablen oder sind fachlich falsch oder unschlüssig. Spezifische Zusammenhänge hingegen, stellen die Ursache/Wirkungsbeziehung korrekt und ausdifferenziert dar.

Verteilung modellspezifischer und unspezifischer Zusammenhänge

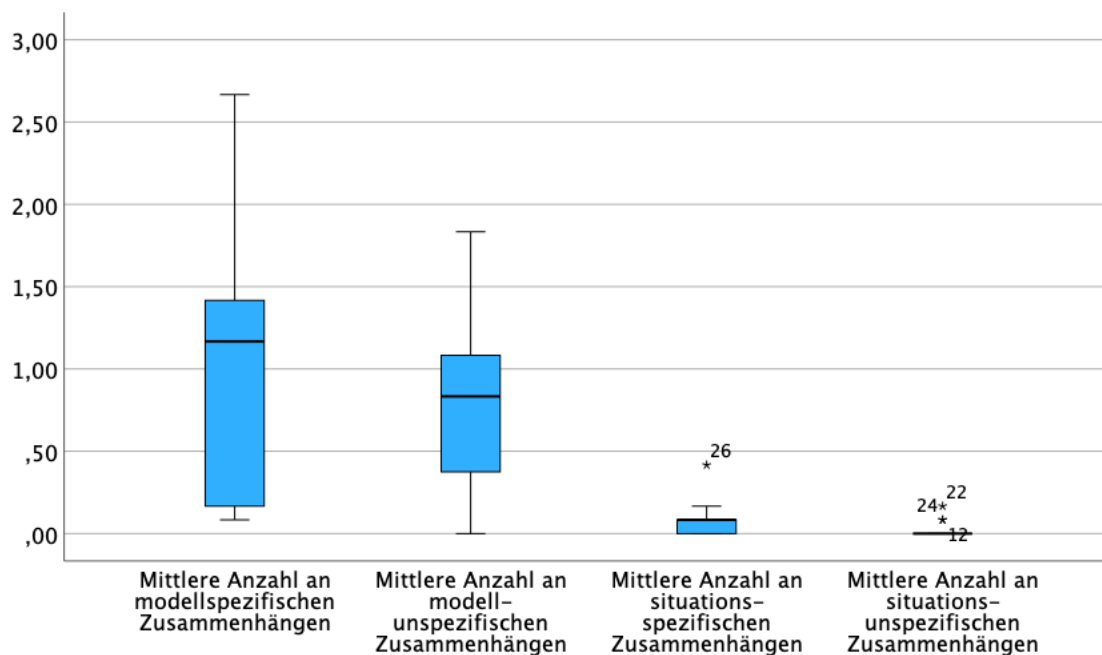


Abbildung 44 Verteilung mittlere Anzahl an modellspezifischen und unspezifischen Zusammenhängen

Durchschnittlich formulierten die Studierenden geringfügig mehr *modellspezifische Zusammenhänge* ($MW = .94$, $SD = .76$, $MD = 1.17$, $Min = .08$, $Max = 2.67$), wobei die mittlere Anzahl an *modellspezifischen Zusammenhängen* stark streuten und eine hohe Variabilität aufwiesen. Auf der *Situationsebene* wurden selten *Zusammenhänge* formuliert. Betrachtet man die Verteilung der relativen Häufigkeiten reduzierte sich die Variabilität der Daten hinsichtlich der *Modellspezifität* (Abbildung 45).

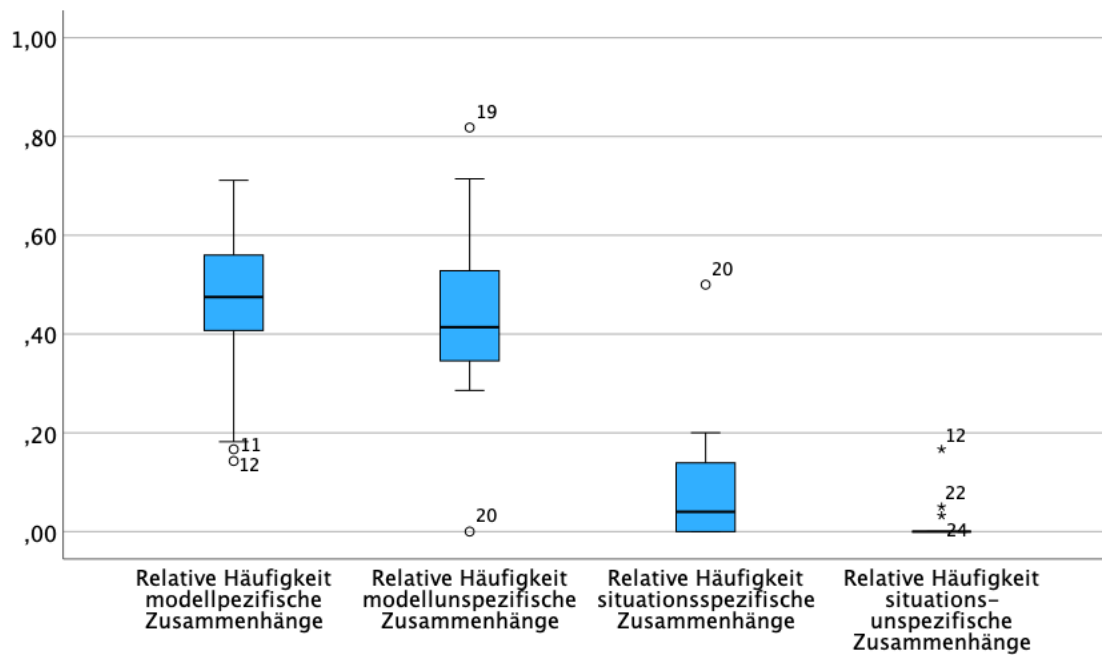


Abbildung 45 Verteilung relativer Häufigkeiten modellspezifischer -und unspezifischer Zusammenhänge

Die Beschreibungen der Studierenden enthielten ein ausgewogenes Verhältnis an *modellspezifischen Zusammenhängen* ($MW = .45$, $SD = .17$ $MD = .48$, $MIN = .14$, $MAX = .71$) und *modellunspezifischen Zusammenhängen* ($MW = .44$, $SD = .20$ $MD = .41$, $MIN = .00$, $MAX = .82$). Wobei die *relative Häufigkeit modellspezifischer Zusammenhänge* eine größere Spannweite aufwies. Auch in diesen Verteilungen konnten mehrere Ausreißer identifiziert werden. So enthielten die Beschreibungen von Fall 11 und 12 nur einen geringen Anteil an *modellspezifischen Zusammenhängen*, wohingegen die Beschreibungen von Fall 20 einen hohen Anteil an *situationsspezifischen Zusammenhängen* beinhalteten.

Insgesamt deuteten die Analysen der Verteilungen der Aussagen hinsichtlich des *Theoretischen Bezugs* und der *Spezifität* darauf hin, dass die Studierenden vorwiegend auf einer *Modellebene* beschrieben und die Beschreibungen ein ausgewogenes Verhältnis zwischen *spezifischen* und *unspezifischen Aussagen* aufwiesen. Das Merkmal *Spezifität* konnte bei der zugrundeliegenden Stichprobe keine größeren Unterschiede zwischen den Beschreibungen der Studierenden aufdecken. Betrachtet man jedoch die Kombination des *Theoretischen Bezugs* und der *Spezifität*, dann zeigte sich eine größere Streuung der Merkmalsausprägung *modellspezifischer Aussagen* und insbesondere *modellspezifischer Zusammenhänge*. Nachfolgend wurde untersucht, ob die Varianz in den Daten auf einen Zusammenhang mit der *deklarativen Modellkompetenz* zurückgeführt werden könnte und ob die größeren Abweichungen im Streudiagramm (Mittlere Anzahl an Zusammenhängen in Abhängigkeit der *deklarativen*

Modellkompetenz) der Untersuchungen des vorangegangenen Kapitels relativiert werden könnte.

12.5 KORRELATIONSANALYSEN DEKLARATIVE MODELLKOMPETENZ, THEORETISCHER BEZUG UND SPEZIFITÄT

In diesem Analyseschritt wurde die Spearman-Korrelationen zwischen dem Expertise-Merkmal *deklarative Modellkompetenz* sowie der *relativen Häufigkeiten modellspezifischer, modellunspezifischer, situationsspezifischer, situationsunspezifischer Fakten* und *Zusammenhänge* bestimmt.

Die Korrelationsanalysen zeigten einen starken positiven Zusammenhang²⁴ zwischen der *deklarativen Modellkompetenz* und der *relativen Häufigkeit von modellspezifischen Zusammenhängen* ($\rho = .768, p < .001$). Außerdem deuteten die Analysen darauf hin, dass ein mittlerer bis starker negativer Zusammenhang zwischen der *deklarativen Modellkompetenz* und der *relativen Häufigkeit von modellunspezifischen Zusammenhängen* bestand ($\rho = -.513, p = 0.51$). Weitere signifikante Zusammenhänge konnten nicht identifiziert werden (Tabelle 40). Die Korrelation zwischen der *relativen Häufigkeit modellspezifischer Aussagen* befanden sich nahe der Signifikanzschwelle ($\rho = .476, p = .073$) und war vermutlich vorwiegend auf *modellspezifische Zusammenhänge* zurückzuführen, da die Korrelation *modellspezifischer Fakten* nicht signifikant und vergleichsweise schwach war.

²⁴ Nach Cohen (1988) geringe/schwache Korrelation $|\rho| = .10$; mittlere/moderate Korrelation $|\rho| = .30$; große/starke Korrelation $|\rho| = .50$

Tabelle 40 Spearman Korrelation deklarative Modellkompetenz, theoretischer Bezug und Spezifität

		Prozent deklarative Modellkompetenz in Prozent
Relative Häufigkeit modellspezifischer Aussagen	Korrelationskoeffizient	.476
	Sig. (2-seitig)	.073
	N	15
Relative Häufigkeit modellspezifische Fakten	Korrelationskoeffizient	.235
	Sig. (2-seitig)	.399
	N	15
Relative Häufigkeit modellunspezifische Fakten	Korrelationskoeffizient	.114
	Sig. (2-seitig)	.686
	N	15
Relative Häufigkeit situationsspezifische Fakten	Korrelationskoeffizient	-.336
	Sig. (2-seitig)	.221
	N	15
Relative Häufigkeit situationsunspezifische Fakten	Korrelationskoeffizient	.106
	Sig. (2-seitig)	.706
	N	15
Relative Häufigkeit modellspezifische Zusammenhänge	Korrelationskoeffizient	.768**
	Sig. (2-seitig)	.001
	N	15
Relative Häufigkeit modellunspezifische Zusammenhänge	Korrelationskoeffizient	-.513
	Sig. (2-seitig)	.051
	N	15
Relative Häufigkeit situationsspezifische Zusammenhänge	Korrelationskoeffizient	-.165
	Sig. (2-seitig)	.556
	N	15
Relative Häufigkeit situationsunspezifische Zusammenhänge	Korrelationskoeffizient	-.225
	Sig. (2-seitig)	.421
	N	15

Abschließend wurden die Streudiagramme der *deklarativen Modellkompetenz* in Abhängigkeit der *mittleren Anzahl an Zusammenhänge* und der *relativen Häufigkeiten modellspezifischer Zusammenhänge* einander gegenübergestellt (Abbildung 46), um zu überprüfen, ob die größere

Streuung durch die Betrachtung der *relativen Häufigkeit modellspezifischer Zusammenhänge* reduziert wurde.

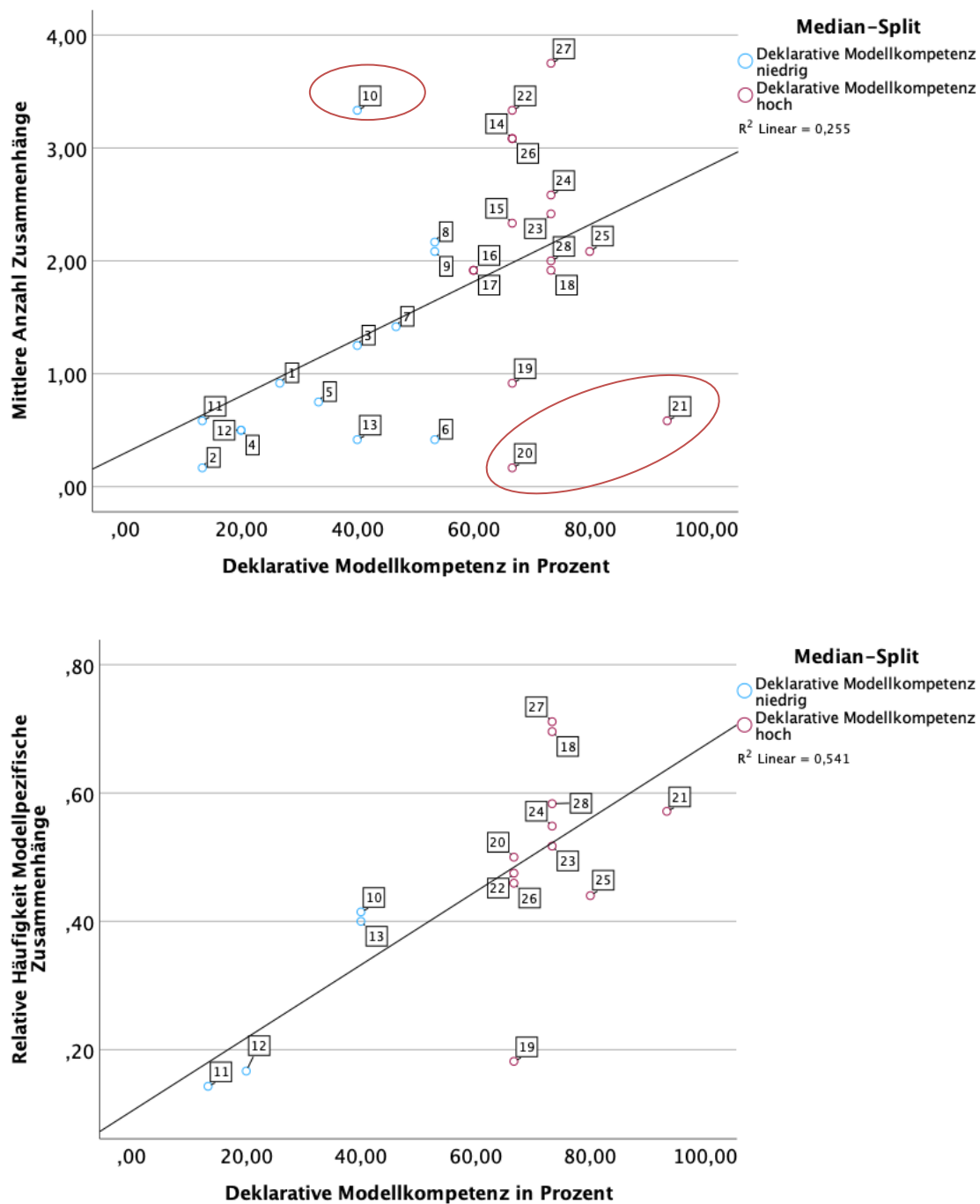


Abbildung 46 Gegenüberstellung Streudiagramme deklarative Modellkompetenz in Abhängigkeit der mittleren Anzahl von Zusammenhängen und relative Häufigkeit modellspezifischer Zusammenhänge

Die Ausreißer 10, 20 und 21 ließen sich durch die Betrachtung der *Modellspezifität* relativieren. Der Fall 10 formulierte viele Zusammenhänge, davon waren jedoch nur ein geringer Anteil *modellspezifisch*. Wohingegen formulierten die Fälle 20 und 21 wenig *Zusammenhänge*, jedoch

waren diese häufiger *modellspezifisch*. Die Abweichungen des Fall 19 blieben jedoch weiterhin bestehen.

Insgesamt konnte ein Zusammenhang zwischen dem Expertise-Merkmal *deklarative Modellkompetenz* und der *mittleren Anzahl an Kernaussagen und Zusammenhängen* sowie der *relativen Häufigkeit modellspezifischer Zusammenhänge* festgestellt werden.

12.6 GRUPPENVERGLEICH BESUCH DER OPTIKVORLESUNG UND MERKMALE VON BESCHREIBUNGEN

Zur Beantwortung der Forschungsfrage, wie sich die naturwissenschaftlichen Beschreibungen Studierender unterschiedlicher Expertise bezüglich der Beschreibungsmerkmale unterscheiden, wurden nachfolgend die Unterschiede in den Beschreibungsmerkmalen bezüglich des zweiten Expertise-Merkmals *Optikvorlesung besucht* untersucht.

Da in der Teilstichprobe ($N = 15$) mit der Kodierung des *theoretischen Bezugs* und *Spezifität* nur vier Fälle vorlagen, die die Optikvorlesung besucht hatten (11 hatten die Vorlesung besucht), werden die beiden Merkmale in diesem Abschnitt aufgrund der geringen Aussagekraft nicht inferenzstatistisch dargestellt. Daher wurden lediglich die Unterschiede bezüglich der *deklarativen Modellkompetenz*, *mittleren Anzahl an Kernaussagen*, *Fakten*, *Zusammenhänge* und *Linearisierung* mit dem Mann-Whitney-U-Test auf Basis der Gesamtstichprobe ($N = 28$) untersucht.

Für die *mittlere Anzahl an Fakten* und *Zusammenhänge* sowie der *Linearisierung* konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Die Mediane der *deklarativen Modellkompetenz in Prozent* unterschieden sich signifikant bei Studierenden, welche die Optikvorlesung nicht besucht hatten ($MD = 33.33$), und Studierenden, die die Optikvorlesung besucht hatten ($MD = 66.77$) ($U = 19.00$, $Z = -2.918$, $p = .004$, $R^2 = .30$). Ebenso unterschieden sich die mittlere Anzahl an Kernaussagen²⁵ signifikant (kein Optik: $M_{Rang} = 9.14$ und Optik: $M_{Rang} = 16.29$) ($U = 36.00$, $Z = -1.991$, $p = .046$, $R^2 = .14$).

²⁵ Die Verteilung der Gruppen ist bezüglich der mittleren Anzahl an Kernaussagen nicht ähnlich, daher werden die mittleren Ränge berichtet und nicht der Median.

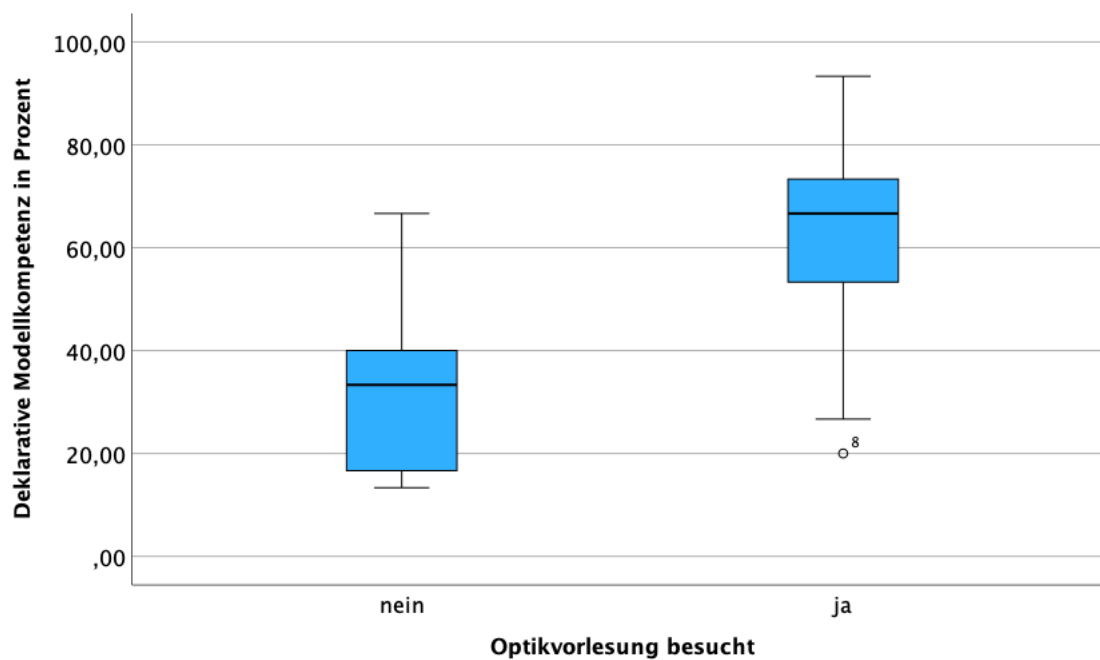


Abbildung 47 Boxplots deklarative Modellkompetenz und Optikvorlesung besucht

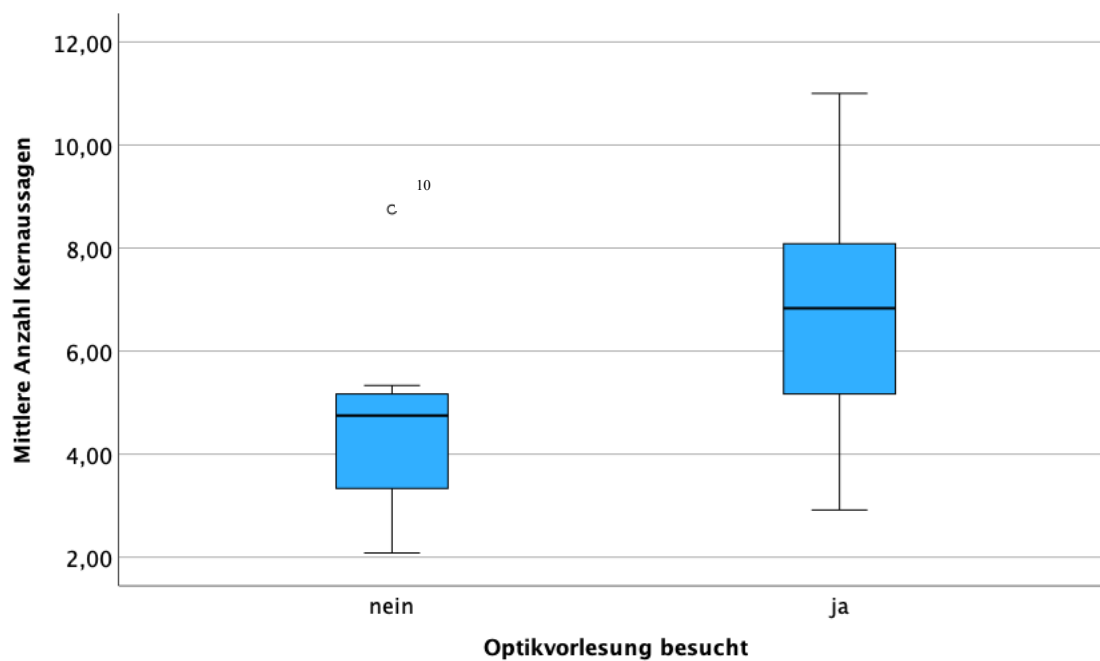


Abbildung 48 Boxplots deklarative Modellkompetenz und Optikvorlesung besucht

12.7 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE ANALYSEFOKUS I

Im Rahmen des Analysefokus I wurden die Beschreibungen hinsichtlich (1) der Merkmale *mittlere Anzahl an Kernaussagen, Fakten und Zusammenhängen, Linearisierung*, (2) das Verhältnis von *Aussagen auf Modellebene und Situationsebene* sowie (3) das Verhältnis von *spezifischen und unspezifischen Aussagen* untersucht, um die erste Forschungsfrage zu beantworten:

FF1 Wie unterscheiden sich die naturwissenschaftlichen Beschreibungen Studierender unterschiedlicher Expertise bezüglich der Beschreibungsmerkmale?

Im ersten Teil der Untersuchung wurde anhand deskriptiver Statistiken und der Analyse der Häufigkeitsverteilungen der Beschreibungsmerkmale überprüft, ob die Merkmale bei den Studierenden Varianz aufweisen. Diese Untersuchungen zielten darauf ab, herauszufinden, ob die Beschreibungsmerkmale dazu geeignet sind, Beschreibungen unterschiedlicher Studierenden zu charakterisieren.

Insgesamt deuten die Analysen darauf hin, dass sich die Beschreibungen der Studierenden hinsichtlich der Merkmale, *mittlere Anzahl der Kernaussagen, Fakten und Zusammenhänge* sowie hinsichtlich *modellspezifischer Aussagen und Zusammenhänge* bezüglich ihrer Häufigkeiten unterscheiden und Varianz aufweisen (Kap. 12.1 und 12.4). Dies unterstützt die Annahme, dass solche Merkmale zur Differenzierung studentischer Beschreibungen herangezogen werden können. Es wurde jedoch beobachtet, dass Merkmale wie der *theoretische Bezug* und die *Spezifität* für sich genommen nur eine geringe Varianz aufzeigen und daher wenig Einblick in die Beschreibungen gewähren. Im Gegensatz dazu ermöglicht eine kombinierte Betrachtung der Merkmale, einschließlich der Analyse *modellspezifischer Aussagen*, eine Unterscheidung der Beschreibungen. Im zweiten Teil der Untersuchungen wurde der Zusammenhang zwischen den Beschreibungsmerkmalen und den Expertise-Merkmalen *deklarative Modellkompetenz* und der *Besuch der Optikvorlesung* als Validitätskriterien des Analyseverfahrens untersucht. Anhand der im theoretischen Teil der Arbeit abgeleiteten Vermutungen (Kap. 6.1) wurde angenommen, dass die beiden Expertise-Merkmale einen positiven Zusammenhang mit den Beschreibungsmerkmalen, *mittlere Anzahl der Kernaussagen und Zusammenhänge*, der *Linearisierung*, dem *theoretischen Bezug* und der *Spezifität* aufweisen.

Die Korrelationsanalysen nach Spearman ergaben starke Korrelationen²⁶ zwischen der *deklarativen Modellkompetenz* und der *mittleren Anzahl von Kernaussagen*, $\rho = .531$, $p < .001$ sowie der *mittleren Anzahl der Zusammenhänge*, $\rho = .505$, $p < .001$. Die Korrelation zwischen der *deklarativen Modellkompetenz* und *Linearisierung* $\rho = .370$, $p = .053$ war nahe der Signifikanzschwelle. Unter der Berücksichtigung der kleinen Stichprobe ($N = 28$) und der geringeren Teststärke bei nicht parametrischen Testverfahren, sollte dies trotz fehlender Signifikanz als Hinweis auf einen Zusammenhang berücksichtigt werden.

Ferner konnte bei einer feineren Auflösung durch die Analyse der Streudiagramme größere Abweichungen von dem prognostizierten positiven Zusammenhang identifiziert werden. Dies deutet darauf hin, dass die *deklarative Modellkompetenz* eine notwendige, jedoch nicht hinreichende Bedingung zum Anfertigen von informationsreichen (hohe Anzahl an *Kernaussagen*), *komplexen* Beschreibungen mit einem Fokus auf Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie (*Linearisierung*) darstellt.

Außerdem deuten die Korrelationsanalysen darauf hin, dass die *deklarative Modellkompetenz* eine positive Bedingung zum Formulieren *modellspezifischer Zusammenhänge* ($\rho = .768$, $p < .001$) darstellt. Dabei verfügen Studierende, welche die *Optikvorlesung besucht haben*, über eine *höhere deklarative Modellkompetenz* (hoch: $MD = 66.77$; niedrig: $MD = 33.33$, $U = 19.00$, $Z = -2.918$, $p = .004$, $R^2 = .30$) und ihre Beschreibungen enthalten im Durchschnitt mehr *Kernaussagen* (kein Optik: $M_{Rang} = 9.14$ und Optik: $M_{Rang} = 16.29$), $U = 36.00$, $Z = -1.991$, $p = .046$, $R^2 = .14$.

²⁶ Nach Cohen (1988) geringe/schwache Korrelation $|\rho| = .10$; mittlere/moderate Korrelation $|\rho| = .30$; große/starke Korrelation $|\rho| = .50$

13 ANALYSEFOKUS 2: ZUSAMMENHANG AUFGABENMERKMALE UND BESCHREIBUNGSMERKMALE

In diesem Abschnitt wird der Zusammenhang zwischen den Aufgabenmerkmalen (*Transparenz* und *Komplexität*) und den Beschreibungsmerkmalen dargestellt. Das Ziel der Analysen war es, festzustellen, ob die Beschreibungen von Phänomenen unterschiedlicher *Transparenz* und *Komplexität* durch die Beschreibungsmerkmale charakterisiert werden können, das bedeutet, dass die Beschreibungsmerkmale bei unterschiedlicher Aufgabencharakteristik unterschiedliche Merkmalsausprägungen aufweisen.

Im Fokus der Analysen standen folgende Leitfragen, die als untergeordnete Fragen zur Beantwortung der Forschungsfrage 2 verstanden werden können.

FF 2.1 Wie unterscheiden sich die Beschreibungsmerkmale bei ‘hoch‘ und ‘niedrig‘ *transparenten* Aufgaben?

FF 2.2 Wie unterscheiden sich die Beschreibungsmerkmale bei ‘hoch‘ und ‘niedrig‘ *komplexen* Aufgaben?

Bei *hochkomplexen* Aufgaben ist die Anzahl der zu beschreibende Zusammenhänge des zugrundeliegenden Phänomens höher als bei *niedrigkomplexen* Aufgaben. Dadurch konnte angenommen werden, dass Beschreibungen *hochkomplexer* Aufgaben eine höhere Anzahl an Zusammenhängen und Kernaussagen aufweisen können. Da die Anzahl an Zusammenhängen jedoch auch die Schwierigkeit des Items erhöhen kann (4.7), sind auch gegenteilige Effekte zu erwarten gewesen. Die Mittelwerte von den Häufigkeitsausprägungen der Beschreibungsmerkmale je Aufgabe konnten somit nur begrenzt Hinweise auf die Aufgabenschwierigkeit liefern. Daher war es sinnvoll, auch die Items zu betrachten, die häufig nicht bearbeitet wurden oder häufig keine (*modellspezifischen*) Zusammenhänge enthalten.

Bei *hochtransparenten* Aufgaben sind, im Gegensatz zu *niedrigtransparenten* Aufgaben, in der Abbildung des Phänomens die Lichtquelle und der Strahlengang des Lichts sichtbar. Dadurch waren die Wechselwirkungen wie beispielsweise die Änderung der Ausbreitungsrichtung, und die Grenzflächen zweier Medien in den Abbildungen erkennbar. Es wurde angenommen, dass dies einen positiven Einfluss auf die *Linearisierung* (Relative Häufigkeit Aussagen Wechselwirkung Licht und Materie) einer Beschreibung hat (Kap. 4.7). Ferner wurde angenommen, dass die Studierenden mehr *modellspezifische Aussagen* und *Zusammenhänge* bei einer *hochtransparenten* Darstellung des Phänomens formulierten, da in der Darstellung

mehr spezifische Details enthalten waren. Hierzu zählten zum Beispiel, die Richtungsänderung an der Grenzfläche zweier Medien oder die unterschiedlich Starke Brechung verschiedener Farben. Diese spezifischen Details können direkt der Darstellung des Phänomens entnommen werden.

13.1 VORGEHEN DER DATENANALYSE

Insgesamt wurden die Studierenden aufgefordert, 12 verschiedene optische Phänomene zu beschreiben. Die Aufgaben unterschieden sich hinsichtlich der *Komplexität*, der *Transparenz* und der zugrundeliegenden Wechselwirkungen (Reflexion, Brechung, Streuung und Interferenz). Die Art der zugrundeliegenden Wechselwirkung konnte insofern einen Einfluss auf die Beschreibungen haben, da Phänomene der Reflexion mit dem Strahlenmodell beschrieben werden können.²⁷ Da das Strahlenmodell weniger Eigenschaften von Licht berücksichtigt, waren auch potenziell weniger Eigenschaften in den Beschreibungen zu nennen.

Tabelle 41 zeigt die Zusammensetzung der Aufgaben.²⁸

Tabelle 41 Anzahl der Aufgaben Komplexität vs. Transparenz

Komplexität Transparenz	niedrig	hoch
niedrig	5	2
hoch	4	1

Es lagen je drei *niedrigtransparente* Aufgaben und *hochtransparente* Aufgaben vor, welche die gleichen Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie als Ursache hatten und bezüglich ihrer Merkmalsausprägung verglichen werden konnten:

- O1 Regenbogen und O3 Dispersionsprisma (frequenzabhängige Brechung)
- O8 Snell Window und O4 Totalreflexion eines Laserstrahls (Totalreflexion als Grenzfall der Brechung)
- O11 Abendrot und O5 Streuwanne (frequenzabhängige Streuung)

²⁷ Prinzipiell können alle Phänomene mit dem Wellenmodell beschrieben werden. Phänomene der Reflexion werden in der Schule und in hochschulischen Kontexten (Abbildungsgesetze) als Teil der geometrischen Optik behandelt und mithilfe des Strahlenmodells beschrieben.

²⁸ Im elektronischen Anhang ist ein Dokument „Phänomene“ mit allen Abbildungen der Items hinterlegt. Es wird empfohlen, dieses Dokument beim Lesen des Kapitels zur Seite zu haben.

Insgesamt lagen für die unterschiedlichen Aufgabenmerkmale eine ungleiche und geringe Anzahl an Aufgaben vor. Außerdem wurden die Aufgabenmerkmale nicht systematisch variiert und die Aufgaben unterschieden sich in ihren fachlichen Themen, daher wurden keine inferenzstatistischen Verfahren zur Analyse der Merkmalsausprägung hinsichtlich der Aufgabenmerkmale vorgenommen. Es wurden jedoch deskriptive Beschreibungen anhand der Mittelwerte der Beschreibungsmerkmale aller Studierender pro Aufgabe ($N = 28$ und $N = 15$) durchgeführt, sowie die Verteilung der Merkmalsausprägungen der Aufgaben via Boxplots analysiert. Hierdurch konnten Hinweise über die Zusammenhänge zwischen der Aufgabenmerkmale sowie der Aufgabenschwierigkeit gewonnen werden. Außerdem lieferte die Analyse der Boxplots Hinweise auf die Streuung und Ausreißer in den Merkmalsausprägungen der unterschiedlichen Aufgaben. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Analysefokus I wurden nur noch die Beschreibungsmerkmale analysiert, die Varianz in den Beschreibungen unterschiedlicher Personen aufgewiesen haben.

13.2 UNTERSUCHUNGSVARIABLEN ANALYSEFOKUS II

Kernaussagen, Komplexität und Linearisierung

In Analysefokus I wurden Zusammenhänge zwischen der *deklarativen Modellkompetenz*, der *mittleren Anzahl an Kernaussagen* und *Zusammenhänge* sowie der *Linearisierung* festgestellt. Daher wurden die Häufigkeitsverteilung dieser Beschreibungsmerkmale je Aufgabe in Abhängigkeit der *deklarativen Modellkompetenz* analysiert. Bei der Interpretation gilt es zu beachten, dass die Klassierung der deklarativen Modellkompetenz via Median-Split in beiden Gruppen ein breites Spektrum der deklarativen Modellkompetenz erfasste (hoch: 60-100 %). Demnach war eine generelle Streuung der Daten um den Median zu erwarten. Außerdem klärte die *deklarative Modellkompetenz* in etwa nur 28% Prozent der Varianz auf (Kap. 12.3), was wiederum bedeutet, dass die Varianz der Merkmalausprägung zusätzlich von anderen Einflussfaktoren erzeugt werden konnte.

Theoretischer Bezug und Spezifität ($N = 15$)

In Analysefokus I wiesen die Merkmale *Aussagen auf Modellebene* und *spezifische Aussagen* keine größere Varianz auf. Das bedeutet, dass die Studierenden vorwiegend auf einer *Modellebene* beschrieben und das Verhältnis der *spezifischen* und *unspezifischen Aussagen* ausgewogen war. Die Analysen haben jedoch ergeben, dass die kombinierte Betrachtung der Merkmale eine differenziertere Charakterisierung der Beschreibungen erlaubte. Ferner konnten

die Untersuchungen des Merkmals *modellspezifische Zusammenhänge* einen Zusammenhang zwischen der *deklarativen Modellkompetenz* aufzeigen. Die Analysen der Zusammenhänge zwischen Aufgabenmerkmale und des *Theoretischen Bezugs* sowie der *Spezifität* erfolgte daher zunächst nur anhand der *relativen Häufigkeiten modellspezifischer Aussagen* und *Zusammenhänge*. Die Analysen der Häufigkeitsverteilungen via Boxplots erfolgten jedoch nicht gruppenbasiert in Abhängigkeit der *deklarativen Modellkompetenz*, da die Gruppe der Studierende mit *niedriger Modellkompetenz* nur vier Personen enthielten und die Aussagekraft dadurch stark eingeschränkt war.

13.3 DESKRIPTIVE STATISTIK DER AUFGABENKENNWERTE

Mittlere Anzahl der Kernaussagen je Aufgabe (N = 28)

Die mittlere Anzahl an *Kernaussagen* je Aufgabe gibt Aufschluss darüber, bei welchen Aufgaben viele und wenige Informationen über das Phänomen identifiziert werden und welche der Aufgaben nicht bearbeitet wurden (Tabelle 42).

Tabelle 42 Aufgabenstatistik mittlere Anzahl an Kernaussagen HK= hoch komplex, NK= niedrig komplex, HT= hoch transparent, NT=niedrig Transparent, WM=Wellenmodell, SM= Strahlenmodell

Statistik	Kernaussagen											
	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	O9	O10	O11	O12
	HK*,	NK,	HK*	NK	NK	NK	HK*	NK	HK	NK	NK	HK
	NT	NT	HT	HT	HT	NT	NT	NT	NT	NT	NK	NT
	WM	SM	WM	SM	WM	SM	WM	SM	WM	SM	WM	WM
MW	8.93	7.07	7.79	5.39	5.79	4.61	7.82	4.82	6.14	4.57	6.79	5.18
MD	8.00	6.50	7.50	5.00	5.00	4.50	6.00	5.00	5.00	4.50	6.00	4.00
SD	5.08	4.31	3.50	3.37	3.56	2.50	5.99	3.06	3.89	2.47	3.48	3.77
MIN	1.00	2.00	3.00	.00	2.00	1.00	.00	.00	1.00	1.00	2.00	.00
MAX	18.00	17.00	17.00	16.00	16.00	12.00	24.00	13.00	20.00	11.00	13.00	16.00
Keine K ²⁹	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1

Die Items O4, O7, O8 und O12 wurden jeweils von einer Person nicht bearbeitet. Bei den Items O8 (Snell Window) und O12 (Luftspiegelung) handelte es sich um dieselbe Person. Beide Phänomene waren auf die Totalreflexion zurückzuführen.

Alle Beschreibungen zu den *hochkomplexen* Items, bis auf O12 (Luftspiegelung), beinhalteten eine höhere *mittlere Anzahl an Kernaussagen* im Vergleich zu den *niedrigkomplexen* Aufgaben ($MW = 6.14$ bis $MW = 8.93$). Die *niedrigkomplexen* Items O2 (Totalreflexion Münze) und O11 (Abendrot) wiesen eine durchschnittlich höhere *Anzahl Kernaussagen* auf.

Die Beschreibungen zu dem *hochtransparenten* Item O3 (Dispersionsprisma) beinhalteten eine höhere *mittlere Anzahl an Kernaussagen* ($MW^o = 7.79$), wohingegen die anderen beiden *hochtransparenten* Items keine höheren Mittelwerte aufwiesen.

Erneut wurde basierend auf der Erwartung, dass eine höhere Expertise (also höhere *deklarative Modellkompetenz*) zu einer höheren *Anzahl an Kernaussagen* führt, ein Vergleich zwischen den

²⁹ Anzahl der Studierenden, welche die Aufgabe nicht bearbeitet haben.

verschiedenen Aufgaben und den Expertisen-Niveaus angestellt (Abbildung 49).

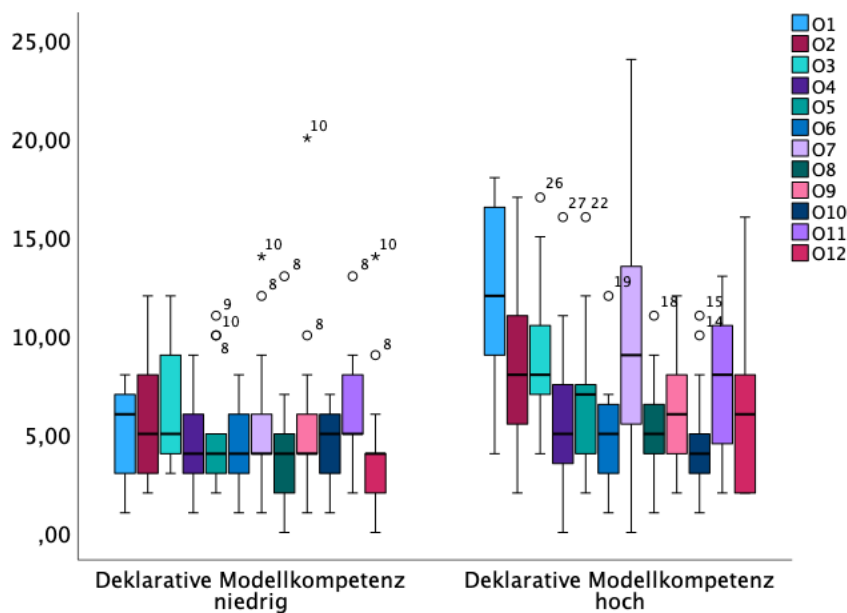


Abbildung 49 Mittlere Anzahl der Kernaussagen je Aufgabe in Abhängigkeit der deklarativen Modellkompetenz

Die *mittlere Anzahl an Kernaussagen je Aufgabe* variierte bei den Studierenden mit ‚hoher‘ *deklarativen Modellkompetenz* erwartungsgemäß stärker als bei den Studierenden mit ‚niedrigerer‘ *deklarativen Modellkompetenz*. Beide Gruppen enthielten jedoch zahlreiche Ausreißer.

Aufgabenkomplexität und deklarative Modellkompetenz

Die Verteilung der *mittleren Anzahl der Kernaussagen* in der Studierendengruppe mit ‚hoher‘ *deklarativen Modellkompetenz* zeigte die Tendenz, dass die Beschreibungen der *hochkomplexen* Items O1, O3 und O7 durchschnittlich mehr *Kernaussagen* beinhalteten. Die Phänomene der Items O1 (Regenbogen), O3 (Dispersionsprisma) und O7 (Interferenz an dünnen Schichten) wiesen die Besonderheit auf, dass im Vergleich zu den anderen *hochkomplexen* Aufgaben deutlich mehr Wechselwirkungen stattfanden und damit auch mehr verbundene Zusammenhänge beinhalteten (5–9 Zusammenhänge vs. 2–3 Zusammenhänge). Die anderen *hochkomplexen* Aufgaben O9 (Interferenz an CD) und O12 (Luftspiegelung) wiesen durchschnittlich ebenfalls mehr *Kernaussagen* auf, wobei hier die Unterschiede zu den *niedrigkomplexen* Items nicht groß waren. Insbesondere wies O12 eine höhere Streuung auf, weswegen die Aussagekraft weiterer Interpretationen eingeschränkt war.

Die Beschreibungen der *niedrigkomplexen* Items O2 (Totalreflexion Münze) und O11 (Abendrot) enthielten bei Studierenden ‚hoher‘ *deklarativer Modellkompetenz* ebenfalls

durchschnittlich mehr *Kernaussagen*. Diese Tendenz zeichnete sich auch bei den Beschreibungen der Studierenden mit ‚niedriger‘ *deklarativen Modellkompetenz* ab. Die Variabilität der mittleren Anzahl an *Kernaussagen* war jedoch bei den Studierenden mit ‚niedriger‘ *deklarativer Modellkompetenz* deutlich geringer und damit war die Aussagekraft über Unterschiede in den Mittelwerten bzw. Medianen eingeschränkt. Daher konnten nur Tendenzen identifiziert werden.

Die Beschreibungen der *hochkomplexen* Items O1, O3, O7 und O9 zeigten eine Tendenz zu einer höheren mittleren Anzahl an *Kernaussagen* bei Studierenden ‚niedriger‘ *Modellkompetenz*. Die *niedrigkomplexen* Items O2 (Totalreflexion Münze) und O11 (Abendrot) wiesen ebenfalls eine höhere Anzahl an *Kernaussagen* auf. Daraus konnte geschlussfolgert werden, dass bei diesen Items mehr *Kernaussagen* formuliert wurden und dies nicht durch die *Komplexität* der Aufgabe und der *deklarativen Modellkompetenz* der Studierenden erklärt werden konnte, sondern auf andere Einflussfaktoren, wie weitere Eigenschaften der Aufgaben oder Fähigkeiten der Studierenden zurückzuführen sein könnten.

Aufgabentransparenz und deklarative Modellkompetenz

Die *hochtransparenten* und *niedrigkomplexen* Items O4 (Totalreflexion Laserstrahl) und O5 (Streuwanne) wiesen keine größeren Unterschiede in der *mittleren Anzahl an Kernaussagen* in beiden Studierendengruppen auf. In den Beschreibungen des *hochtransparenten* und *hochkomplexen* Item O3 (Dispersionsprisma) konnte sowohl bei Studierenden mit ‚hoher‘ und ‚niedriger‘ *deklarativen Modellkompetenz* eine höhere *mittlere Anzahl Kernaussagen* beobachtet werden.

Innerhalb der Studierendengruppe mit ‚niedriger‘ *deklarativen Modellkompetenz* ließ sich beim Vergleich der Items O3 (Dispersionsprisma) und O1 (Regenbogen) beobachten, dass es mehr Studierenden gelang, bei dem *hochtransparenten* Item O3 mehr Informationen zu identifizieren und dadurch eine höhere *Anzahl an Kernaussagen* zu formulieren. Die Phänomene beider *hochkomplexen* Items waren auf die gleichen Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie zurückzuführen.

Insgesamt deuteten die Untersuchungen darauf hin, dass die Beschreibungen *hochkomplexer* Aufgaben erwartungsgemäß eine höhere *Anzahl an Kernaussagen* beinhalten. Es konnten jedoch auch Aufgaben identifiziert werden, deren Beschreibungen trotz *niedriger Komplexität* eine durchschnittlich höhere *Anzahl an Kernaussagen* enthielten. Ferner deuteten die

Untersuchungen daraufhin, dass es Studierenden mit ‚niedriger‘ *deklarativen Modellkompetenz* leichter fiel, Informationen in *hochtransparenten* Darstellungen von *hochkomplexen* Phänomenen zu identifizieren.

Mittlere Anzahl an Zusammenhänge je Aufgabe (N = 28)

Im Hinblick auf das Aufgabenmerkmal *Komplexität* gaben die Mittelwerte der Anzahl der *Zusammenhänge* je Aufgabe einen Hinweis darauf, ob Beschreibungen *hochkomplexer* Aufgaben durchschnittlich mehr *Zusammenhänge* aufwiesen (Tabelle 43). Ferner konnten die Häufigkeiten der Studierenden, die keine *Zusammenhänge* formuliert haben, Aufschluss über die Aufgabenschwierigkeit geben.

Tabelle 43 Aufgabenstatistik Anzahl an Zusammenhängen HK= hochkomplex, NK= niedrig komplex, HT= hochtransparent, NT=niedrig Transparent, WM= Wellenmodell, SM=Strahlenmodell

Statistik	Zusammenhänge											
	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	O9	O10	O11	O12
	HK,	NK,	HK	NK	NK	NK	HK	NK	HK	NK	NK	HK
	NT	NT	HT	HT	HT	NT	NT	NT	NT	NT	NK	NT
	WM	SM	WM	SM	WM	SM	WM	SM	WM	SM	WM	WM
MW	2.71	1.32	2.75	1.21	1.68	1.00	1.79	1.14	1.71	.64	2.25	1.79
MD	2.50	1.00	3.00	1.00	1.00	1.00	1.50	1.00	1.00	.50	2.00	1.50
SD	2.23	1.39	2.05	1.42	1.94	1.02	1.87	1.08	1.67	.87	1.53	1.71
MIN	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
MAX	7.00	5.00	7.00	5.00	7.00	4.00	7.00	3.00	6.00	4.00	6.00	7.00
Keine Zshg ³⁰	6	9	5	12	11	10	10	10	8	14	3	6

Die Beschreibungen der *hochkomplexen* Items O1 (Regenbogen) und O3 (Dispersionsprisma) sowie das *niedrigkomplexe* Item O11 (Abendrot) enthielten durchschnittlich mehr *Zusammenhänge* als die anderen Items. Außerdem ist die Anzahl an Studierenden, die keine *Zusammenhänge* beschrieben haben, im Vergleich zu den anderen Items geringer. Ebenso verhielt es sich bei dem Item O12 (Luftspiegelung). Die *niedrigkomplexen* Items O6 (Reflexion an Plastikoberfläche) und O10 (Reflexion an Wasseroberfläche) wiesen am wenigsten *Zusammenhänge* auf.

³⁰ Anzahl der Studierenden, die keine Zusammenhänge formuliert haben. Farbliche Markierung erfolgt, wenn mehr als 25% der Studierenden bei einer Stichprobe von N = 28 keine Zusammenhänge formuliert haben.

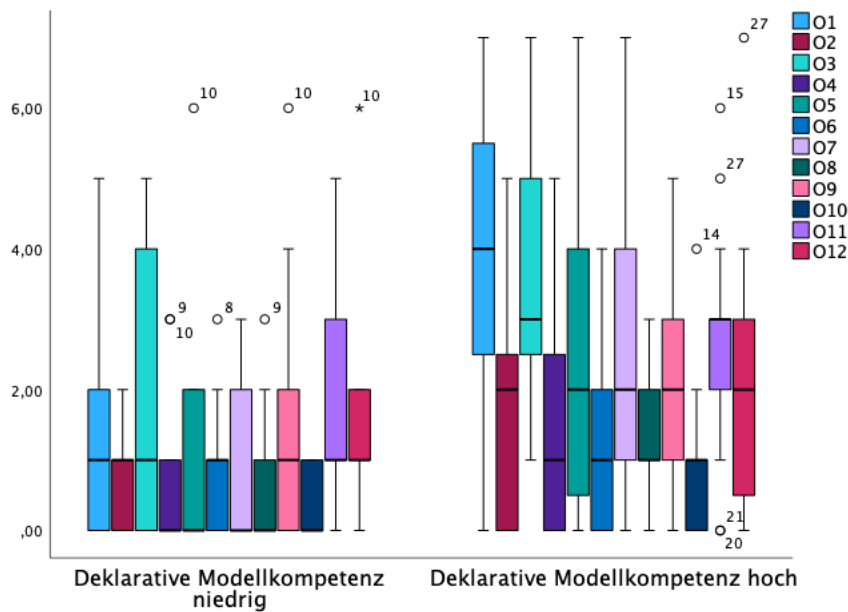


Abbildung 50 Mittlere Anzahl an Zusammenhänge je Aufgabe in Abhängigkeit der deklarativen Modellkompetenz

Die mittlere Anzahl an *Zusammenhänge* je Aufgabe variierte, der Erwartung entsprechend, bei den Studierenden mit ‚hoher‘ *deklarativen Modellkompetenz* stärker als bei den Studierenden mit ‚niedriger‘ *deklarativen Modellkompetenz* (Abbildung 50). Die Gruppe der Studierenden mit ‚niedriger‘ *deklarativen Modellkompetenz* enthielt jedoch Items mit einer höheren Streuung der mittleren Anzahl an *Zusammenhängen* (O3 und O11). Auch bei der Untersuchung der mittleren Anzahl an *Zusammenhängen* ließen sich in den Gruppen viele Ausreißer identifizieren.

Aufgabenkomplexität und deklarative Modellkompetenz

Die Beschreibungen der *hochkomplexen* Items O1 (Regenbogen) und O3 (Dispersion) enthielten deutlich mehr *Zusammenhänge* bei den Studierenden ‚hoher‘ *deklarativer Modellkompetenz*. Die anderen *hochkomplexen* Items O7 (Interferenz an Ölfilm), O9 (Interferenz an CD) und O12 (Luftspiegelung) zeigten ebenfalls die Tendenz einer höheren Anzahl an *Zusammenhängen*, jedoch wiesen diese Items auch eine breitere Streuung um den Median auf. In der Studiengrupp mit ‚niedriger‘ *deklarativen Modellkompetenz* wiesen alle *hochkomplexen* Items (O1, O3, O7, O9, O12) eine größere Spannweite der mittleren Anzahl an *Zusammenhängen* auf als die *niedrigkomplexen* Items (O2, O4, O5, O6, O8, O10). Das bedeutet, es gab eine höhere Anzahl an Studierenden, die bei *hochkomplexen* Aufgaben mehr *Zusammenhänge* formulierten als bei *niedrigkomplexen* Items.

Die *niedrigkomplexen* Items O2, O4, O5, O8 und O10 enthielten im Vergleich zu den *hochkomplexen* Items eine niedrigere mittlere Anzahl an *Zusammenhängen* in beiden Gruppen. Die Beschreibungen des *niedrigkomplexen* Items O11 (Abendrot) enthielten jedoch eine höhere

mittlere Anzahl an *Zusammenhängen* sowohl bei den Studierenden mit ‚hoher‘ als auch ‚niedriger‘ *deklarativen Modellkompetenz*.

Aufgabentransparenz und deklarative Modellkompetenz

Die Beschreibungen des *hochkomplexen* und *hochtransparenten* Item O3 (Dispersionsprisma) enthielten in beiden Gruppen eine höhere Anzahl an *Zusammenhängen*. Die Spannweite war bei den Studierenden mit ‚niedriger‘ *deklarativen Modellkompetenz* ($MD = 1.00$, $MIN = .00$, $MAX = 5.00$) besonders hoch. Das bedeutet, dass 50 % der Studierenden eine ähnlich hohe Anzahl an *Zusammenhängen* formulierte wie die Studierenden ‚hoher‘ *deklarativer Modellkompetenz* ($MD = 3.00$, $MIN = 1.00$, $MAX = 7.00$). Gleichzeitig umfasste das *hochkomplexe* und *niedrigtransparente* Item O1 (Regenbogen), das auf die gleichen physikalischen Wechselwirkungen zurückzuführen ist, eine ähnliche Spannweite ($MD = 1.0$, $MIN = 0.00$, $MAX = 5.00$), jedoch einen kleineren Interquartilsabstand ($IQR = 2.50$ vs. $IQR = 4.00$) als bei den Studierenden ‚niedriger‘ *deklarativer Modellkompetenz*. Dies deutete darauf hin, dass es den Studierenden bei einer *hochtransparenten* Darstellung leichter fiel, Zusammenhänge zu identifizieren.

Die *hochtransparenten* und *niedrigkomplexen* Items O4 (Totalreflexion Laserstrahl) und O5 (Streuwanne) wiesen bei den Studierenden ‚niedriger‘ *deklarativer Modellkompetenz* eine geringe Anzahl an *Zusammenhängen* auf. Außerdem enthielten die Beschreibungen des *niedrigtransparenten* Items O11 (Abendrot) durchschnittlich mehr *Zusammenhänge* ($MD = 1.00$, $MIN = .00$, $MAX = 5.00$) als das *hochtransparente* Item O5 (Streuwanne) ($MD = .00$, $MIN = .00$, $MAX = 6.00$, $IQR = 2.00$). Beide Phänomene sind auf die gleichen Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie zurückzuführen (frequenzabhängige Streuung). Es gilt zu berücksichtigen, dass der Wert des Maximums durch den Ausreißer verzerrt wurde. Berücksichtigt man diesen Fall nicht, dann lag das Maximum bei zwei *Zusammenhängen*. Dies impliziert zunächst nicht, dass es den Studierenden mit ‚niedriger‘ *deklarativen Modellkompetenz* leichter fiel, bei dem *hochtransparenten* Item O5 als bei dem *niedrigtransparenten* Item O11 *Zusammenhänge* zu identifizieren. Die Item-Paare O4 (Totalreflexion Laserstrahl) und O8 (Snell Window) zeigten beide eine ähnlich geringe Anzahl an *Zusammenhängen* bei den Studierenden ‚niedriger‘ *deklarativer Modellkompetenz*.

Bei der Gruppe der Studierenden mit ‚hoher‘ *deklarativer Modellkompetenz* zeigten sich jedoch andere Tendenzen bezüglich der Items O5 und O11. Das *hochtransparente* Item O5 ($MD = 2.00$, $MIN = .00$, $MAX = 7.00$, $IQR = 4.00$) wies eine höhere Spannweite hinsichtlich

der formulierten *Zusammenhänge* auf als das *niedrigtransparente* Item O11 ($MD = 3.00$, $MIN = .00$, $MAX = 6.00$, $IQR = 1.00$). Dies bedeutet, dass eine höhere Anzahl an Studierenden mehr *Zusammenhänge* bei dem *hochtransparenten* Item O5 identifizierten. Aufgrund der breiten Streuung um den Median gab es bei diesem Item jedoch auch eine höhere Anzahl an Studierenden, die wenige *Zusammenhänge* identifizieren.

Ein ähnliches Verhältnis wiesen das *hochtransparente* Item O4 (Totalreflexion Laser) und *niedrigtransparente* Item O8 (Snell Window) auf, die beide auf die Totalreflexion von Licht zurückzuführen waren. Das *hochtransparente* Item O4 ($MD = 1.00$, $MIN = .00$, $MAX = 5.00$, $IQR = 3.00$) wies eine höhere Spannweite hinsichtlich der formulierten *Zusammenhänge* auf als das *niedrigtransparente* Item O8 ($MD = 1.00$, $MIN = .00$, $MAX = 3.00$, $IQR = 1.00$). Dies bedeutet, dass auch bei diesem *hochtransparenten* Item O4 eine höhere Anzahl an Studierenden mehr *Zusammenhänge* identifizierten als bei dem *niedrigtransparenten* Item O8.

Insgesamt deuteten die Untersuchungen darauf hin, dass die Beschreibungen *hochkomplexer* Items, dessen Phänomene auf eine höhere Anzahl von Wechselwirkungen zurückzuführen waren, mehr *Zusammenhänge* aufwiesen. Das Item O11 (Abendrot) wies auch bei diesen Untersuchungen trotz *niedriger Komplexität* eine höhere Anzahl an *Zusammenhängen* auf. Die Anzahl der *Zusammenhänge* konnte in diesem Fall nicht durch die *Aufgabenkomplexität* erklärt werden. Die Analysen hinsichtlich der *Aufgabentransparenz* lieferten zwar Hinweise darauf, dass eine höhere Anzahl an Studierenden bei *hochtransparenten* Items mehr *Zusammenhänge* formulierte, jedoch ist die Interpretation aufgrund der geringen Anzahl an Items und der Interaktionseffekte zwischen der *Aufgabenkomplexität*, *deklarativen Modellkompetenz* und Inhaltsbereichen nur eingeschränkt möglich.

Linearisierung anhand der Wechselwirkung zwischen Licht und Materie (N = 28)

Die *Linearisierung* gab Aufschluss darüber, ob die Studierenden bei ihren Beschreibungen einen Fokus auf die Wechselwirkungen des Lichts gelegt hatten. Hierzu wurde die *relative Häufigkeit der Anzahl der Kernaussagen* über Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie analysiert (Tabelle 44). Bei Werten über 50% wurden in den Beschreibungen vorwiegend Aussagen über die Eigenschaften von Licht und Materie sowie ihrer Wechselwirkung formuliert. Aufgrund der theoretischen Vorüberlegungen (Kap. 4.7) wurde angenommen, dass die Transparenz einen Einfluss auf die Linearisierung hatte, da bei *hochtransparenten* Items die Grenzflächen, der Strahlengang und die Wechselwirkung, also die Änderung eines Attributs von Licht, erkennbar sind. Deswegen waren bei den nachfolgenden Untersuchungen der *Linearisierung* vor allem Unterschiede hinsichtlich der *hoch- und niedrigtransparenten* Items von Interesse.

Tabelle 44 Aufgabenstatistik Relative Häufigkeit Aussagen Wechselwirkung Licht und Materie HK= hochkomplex, NK= niedrig komplex, HT= hochtransparent, NT=niedrig Transparent, WM= Wellenmodell, SM= Strahlenmodell

Linearisierung: Relative Häufigkeit Aussagen Wechselwirkung Licht und Materie												
Statistik	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	O9	O10	O11	O12
	HK,	NK,	HK	NK	NK	NK	HK	NK	HK	NK	NK	HK
	NT	NT	HT	HT	HT	NT	NT	NT	NT	NT	NK	NT
	WM	SM	WM	SM	WM	SM	WM	SM	WM	SM	WM	WM
MW	.60	.50	.83	.88	.80	.46	.63	.43	.64	.52	.61	.47
MD	.70	.50	.80	1.00	.80	.57	.76	.50	.75	.63	.67	.63
SD	.25	.39	.13	.15	.20	.34	.35	.35	.34	.39	.31	.37
MIN	.00	.00	.63	.60	.50	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
MAX	.89	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Keine WW ³¹	3	8	0	0	1	6	5	8	2	6	3	7
Nur WW	2	2	8	14	7	4	2	2	6	5	2	1

Die Studierenden trafen bei den Beschreibungen der Items O3, O4 und O5 durchschnittlich häufiger Aussagen über Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie und zeigten im Gegensatz zu den anderen Items eine geringere Streuung ($SD = .13$ bis $SD = .20$). Alle Beschreibungen von O3 und O4, und bis auf eine Beschreibung einer Person zu O5, enthielten die Beschreibungen aller Studierender Aussagen über Wechselwirkungen. Unter den

³¹ Anzahl der Studierenden, die keine Aussagen über Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie treffen. Farbliche Markierung erfolgt, wenn mehr als 25% der Studierenden bei einer Stichprobe von N = 28 keine Wechselwirkungen oder ausschließlich Wechselwirkungen formuliert haben.

Beschreibungen der restlichen Items gab es Beschreibungen, die keine Aussagen über Wechselwirkungen beinhalten. Die Items O2 (Totalreflexion Münze), O8 (Snells Window) und O12 (Luftspiegelung) enthielten am häufigsten Beschreibungen ohne Aussagen über Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie, wohingegen die *hochtransparenten* Items (O3, O4, O5) besonderes häufig Beschreibungen beinhalteten, die ausschließlich Aussagen über Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie trafen.

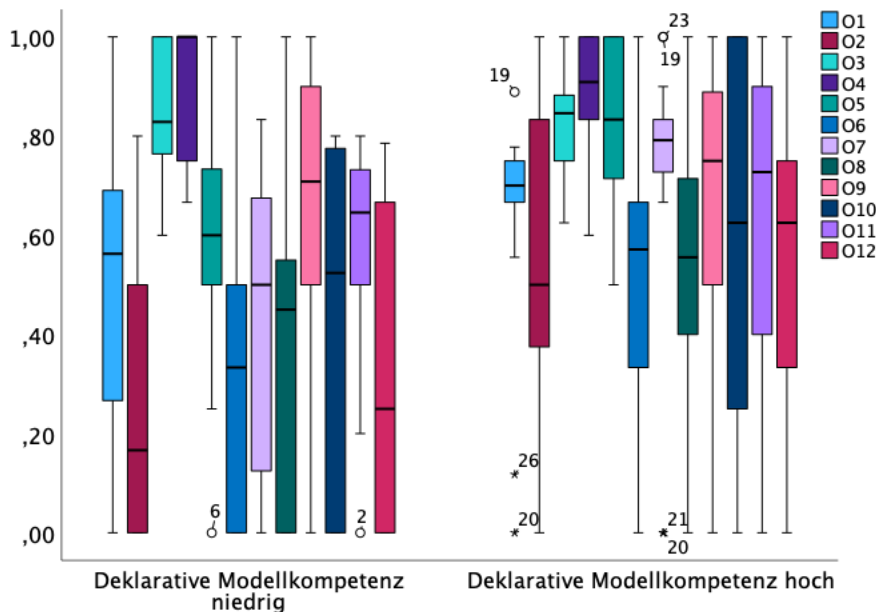


Abbildung 51 Verteilung der Mittelwerte Linearisierung je Aufgabe in Abhängigkeit der deklarativen Modellkompetenz

Die relative Häufigkeit der Anzahl an *Kernaussagen* bezüglich Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie variierten sowohl bei den Studierenden mit hoher als auch bei Studierenden mit *niedriger deklarativen Modellkompetenz* sehr stark, daher wurde die Verteilung nur hinsichtlich der Aufgabentransparenz analysiert (Abbildung 51). Die *hochtransparenten* Items wiesen im Vergleich zu den anderen Items eine deutlich geringere Spannweite sowie Interquartilsabstände und somit eine geringere Variabilität der Daten auf. Auch hinsichtlich der *Linearisierung* zeigte die Verteilung ebenso viele Ausreißer wie bei den vorangegangenen Untersuchungen. Hier waren vorrangig zahlreiche Ausreißer hin zum Minimum zu beobachten.

Aufgabentransparenz und deklarative Modellkompetenz

Die Beschreibungen der niedrigen transparenten Items O3 (Dispersionsprisma) und O4 (Totalreflexion Laserstrahl) enthielten in beiden Gruppen deutlich höhere relative Häufigkeiten hinsichtlich der Anzahl an Kernaussagen über Wechselwirkungen ($MD > .83$).

Das *hochtransparente* Item O5 (Streuwanne) beinhaltete in der Gruppe der Studierenden mit ‚niedriger‘ *deklarativer Modellkompetenz* im Vergleich zu den anderen Items keine deutlich höhere Anzahl an Kernaussagen über Wechselwirkungen ($MD = .60$, $MIN = .00$, $MAX = 1.00$, $IQR = .27$).

Bei diesem Item war der Lichtweg nicht direkt sichtbar, sondern nur angedeutet dargestellt worden.³² Bei den Studierenden mit ‚hoher‘ *deklarativer Modellkompetenz* wies das Item O5 eine durchschnittlich höhere *Linearisierung* gemäß den Wechselwirkungen auf ($MD = .83$, $MIN = .50$, $MAX = 1.00$, $IQR = .33$). In beiden Gruppen enthielten die *hochtransparenten* Items einen höheren Anteil an Kernaussagen über Wechselwirkungen, als die *niedrigtransparenten* Items, welche auf die gleichen Wechselwirkungen zurückzuführen waren (O1 vs. O3, O4 vs. O8 und O5 vs. O11).

Die Ergebnisse der Untersuchungen legten nahe, dass die Studierenden bei Beschreibungen *hochtransparenter* Darstellung von Phänomenen einen stärkeren Fokus auf Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie legten.

³² Bei diesem Phänomen ist die Perspektive des Bildes so gewählt, dass man in Blickrichtung der Lichtquelle blickt. Die Lichtquelle ist direkt vor der Streuwanne positioniert.

Modellspezifische Aussagen je Aufgabe (N = 15)

Nachfolgend wurde auf Aufgabenebene untersucht, ob die Beschreibungsmerkmale *modellspezifische Aussagen* und *Zusammenhänge* unterschiedliche Ausprägungen bei *hoch-* und *niedrigtransparenten* Aufgaben zeigten (Tabelle 45). Ferner konnten insbesondere Items, bei denen häufig keine *modellspezifischen Aussagen* und *Zusammenhänge* getroffen wurden, ein Indikator für die Aufgabenschwierigkeit darstellen.

Tabelle 45 Aufgabenstatistik modellspezifische Aussagen HK= hochkomplex, NK= niedrig komplex, HT= hochtransparent, NT=niedrig Transparent, WM=Wellenmodell, SM=Strahlenmodell

Statistik	Relative Häufigkeit modellspezifischer Aussagen											
	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	O9	O10	O11	O12
	HK,	NK,	HK,	NK,	NK,	NK,	HK,	NK,	HK,	NK,	NK,	HK,
	NT,	NT,	HT,	HT,	HT,	NT,	NT,	NT,	NT,	NT,	NK,	NT,
	WM	SM	WM	SM	WM	SM	WM	SM	WM	SM	WM	WM
MW	.32	.25	.49	.67	.28	.21	.32	.29	.32	.20	.37	.42
MD	.38	.18	.57	.67	.29	.00	.33	.00	.25	.00	.25	.40
SD	.21	.26	.29	.24	.25	.31	.26	.37	.35	.32	.35	.41
MIN	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
MAX	.73	.70	1.00	100	.67	1.00	.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Keine Mod- spez ³³	2	6	1	1	5	9	4	8	7	9	4	6
Nur Mod- Spz	0	0	1	2	0	1	0	2	1	1	2	2

Die Mittelwerte der *relativen Häufigkeit modellspezifischer Aussagen* lagen bei den meisten Aufgaben im Bereich .30-0.49 (Tabelle 45). Dabei zeigten die *niedrigtransparenten* Items O2, O6, O8 und O10 durchschnittlich niedrigere Mittelwerte und Mediane. Gleichzeitig enthielten die Beschreibungen dieser Items häufiger keine *modellspezifischen Aussagen*, wohingegen die *hochtransparenten* Items O3 ($MW = .49$, $MD = .57$) und O4 ($MW = .67$, $MD = .67$) im Vergleich ein höheres Verhältnis an *modellspezifischen Aussagen* umfassten. Das *hochtransparente* Item O5 ($MW = .28$, $MD = .29$) wies jedoch ein geringes Verhältnis an *modellspezifischen Aussagen* auf. Aus einer genaueren Betrachtung der Verteilung (Abbildung 52) ging hervor, dass sich das *hochtransparente* Item O5 (Streuwanne) in seinen Lagemaßen nicht deutlich von den anderen Items unterschied. Bei der Darstellung des Phänomens waren

³³ Anzahl der Studierenden, die keine modellspezifischen Aussagen formuliert haben. Farbliche Markierung erfolgt, wenn mehr als 25% der Studierenden bei einer Stichprobe von N = 15 keine modellspezifischen oder ausschließlich modellspezifischen Aussagen formuliert haben.

weniger spezifische Details zu den Wechselwirkungen enthalten als bei der Darstellung der Phänomene O3 (Dispersionsprisma) und O4 (Totalreflexion Laserstrahl). Bei Item O4 war eine geringere Spannweite und Variabilität ($MD = .67$, $MIN = .00$, $MAX = 1.00$, $IQR = .23$) und eine Tendenz zu vorwiegend *modellspezifischen Aussagen* beobachtbar. Ohne Berücksichtigung des Ausreißers lag das Minimum bei $MIN = .50$. Bei Item O3 war ebenfalls die Tendenz beobachtbar, dass mehr Studierende vorwiegend *modellspezifische Aussagen* tätigten, jedoch wies das Item gleichzeitig eine höhere Variabilität bezüglich *modellunspezifischer Aussagen* auf ($MD = .57$, $MIN = .00$, $MAX = 1.00$, $IQR = .49$), das bedeutet, dass es auch eine höhere Anzahl an Beschreibungen mit einem geringeren Anteil *modellspezifischer Aussagen* gab.

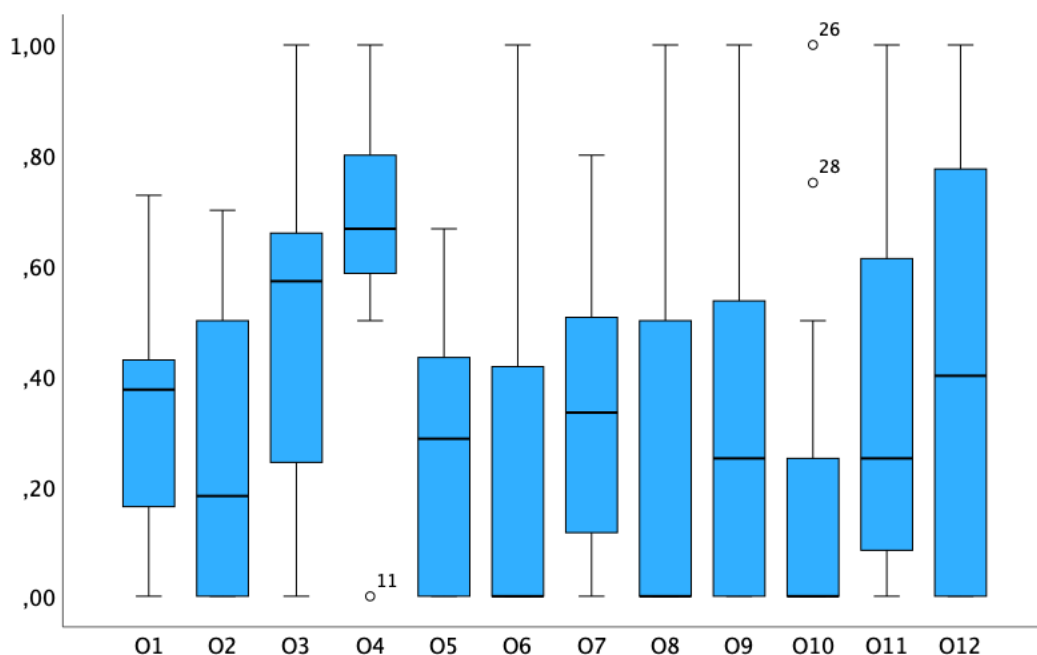


Abbildung 52 Verteilung relative Häufigkeit modellspezifischer Aussagen auf Aufgabenebene

Weitere Besonderheiten in den Verteilungen der Daten waren bei den Items O12 (Luftspiegelung) und O10 (Spiegelung an Wasseroberfläche) zu beobachten (Abbildung 52). O12 wies die höchste Spannweite und Variabilität in den Daten auf ($MD = .40$, $MIN = .00$, $MAX = 1.00$, $IQR = .80$), wohingegen O10 die geringste Spannweite und Variabilität, aber auch zwei Ausreißer ($MD = .00$, $MIN = .00$, $MAX = 1.00$, $IQR = .25$) in Richtung Maximum, enthielt. Wären die Ausreißer nicht berücksichtigt worden, so hätte das Maximum bei $MAX = .50$ gelegen. Das bedeutet, dass bei dem Item O10 vorwiegend *modellunspezifische Aussagen* getätigt wurden.

Insgesamt ließ die Datenverteilung erkennen, dass ein Großteil der Studierenden vorwiegend *modellunspezifische Aussagen* in ihren Beschreibungen formulierten, wodurch die Ergebnisse

aus dem Analysefokus I unterstützt werden. Eine Ausnahme stellt das *hochtransparente* Item O4 (Totalreflexion Laserstrahl) dar. Dieses Item schien für die meisten Studierenden eine geringe Aufgabenschwierigkeit bezüglich der Formulierung *modellspezifischer Aussagen* aufzuweisen. Eine höhere Tendenz zeigte sich zwar bei dem *hochtransparenten* Item O3, wobei hier eine größere Streuung vorlag als bei Item O4. Das bedeutet, dass etwa die Hälfte der Studierenden vorwiegend *modellunspezifische Aussagen* formulierten. Die Items O6 (Reflexion an einer Plastikoberfläche) und Item O10 (Reflexion an einer Wasseroberfläche) stellten sich durch die höchste Anzahl an Beschreibungen ohne *modellspezifische Aussagen* als Items mit der höchsten Schwierigkeit, *modellspezifische Aussagen* zu formulieren, heraus.

Modellspezifische Zusammenhänge je Aufgabe (N = 15)

Die Items O1, O3, O4 und O12 enthielten durchschnittlich mehr modellspezifische Zusammenhänge als die anderen Items. Die Beschreibungen der Items O6 (Reflexion an Plastikoberfläche) und O10 (Reflexion an Wasseroberfläche) wiesen fast keine modellspezifischen Zusammenhänge auf (Tabelle 46). Anhand der Abbildung 53 konnte der Fall 26 als die einzige Person identifiziert werden, dessen Beschreibungen *modellspezifische Zusammenhänge* bei den Items O6 und O10 enthielten.

Tabelle 46 Aufgabenstatistik relative Häufigkeit modellspezifische Zusammenhänge HK= hochkomplex, NK= niedrig komplex, HT= hochtransparent, NT=niedrig Transparent

Relative Häufigkeit modellspezifischer Zusammenhänge												
Statistik	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	O9	O10	O11	O12
	HK,	NK,	HK	NK	NK	NK	HK	NK	HK	NK	NK	HK
	NT	NT	HT	HT	HT	NT	NT	NT	NT	NT	NK	NT
	WM	SM	WM	SM	WM	SM	WM	SM	WM	SM	WM	WM
MW	.43	.25	.47	.41	.29	.03	.32	.31	.29	.07	.38	.45
MD	.33	.00	.50	.33	.00	.00	.25	.00	.00	.00	.00	.50
SD	.38	.39	.31	.44	.41	.13	.35	.42	.35	.26	.45	.46
MIN	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
MAX	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Keine Mod-spez Zsgh ³⁴	4	10	3	7	9	14	6	9	8	14	8	7
Nur Mod- Zsgh	3	2	1	4	2	0	2	3	1	1	4	5

Weiter konnte anhand der Boxplots eine breite Streuung der Daten bei den Items O4, O5, O11 und O12 beobachtet werden (Abbildung 53). Das *hochtransparente* Item O3 ($MD = .50$, $MIN = .00$, $MAX = 1.00$, $IQR = .38$) beinhaltet ein weniger breites Spektrum der Datenverteilung. Die Beschreibungen der Hälfte der Studierenden enthielten mehr *modellspezifische Zusammenhänge* als *unspezifische Zusammenhänge*. Bei Item O12 (Luftspiegelung) konnte auch bezüglich der relativen Anzahl an *modellspezifischen Zusammenhängen* eine hohe Variabilität der Daten und eine breite Streuung um den Median beobachtet werden. Ein Drittel der Studierenden fertigten zu diesem Item Beschreibungen an,

³⁴ Anzahl der Studierenden, die keine modellspezifischen Zusammenhänge formuliert haben. Farbliche Markierung erfolgt, wenn mehr als 25% der Studierenden bei einer Stichprobe von N = 15 keine modellspezifischen oder ausschließlich modellspezifischen Aussagen formuliert haben.

die nur *modellspezifische Zusammenhänge* beinhalteten, wohingegen die Hälfte der Studierenden keine *modellspezifischen Zusammenhänge* formulierten.

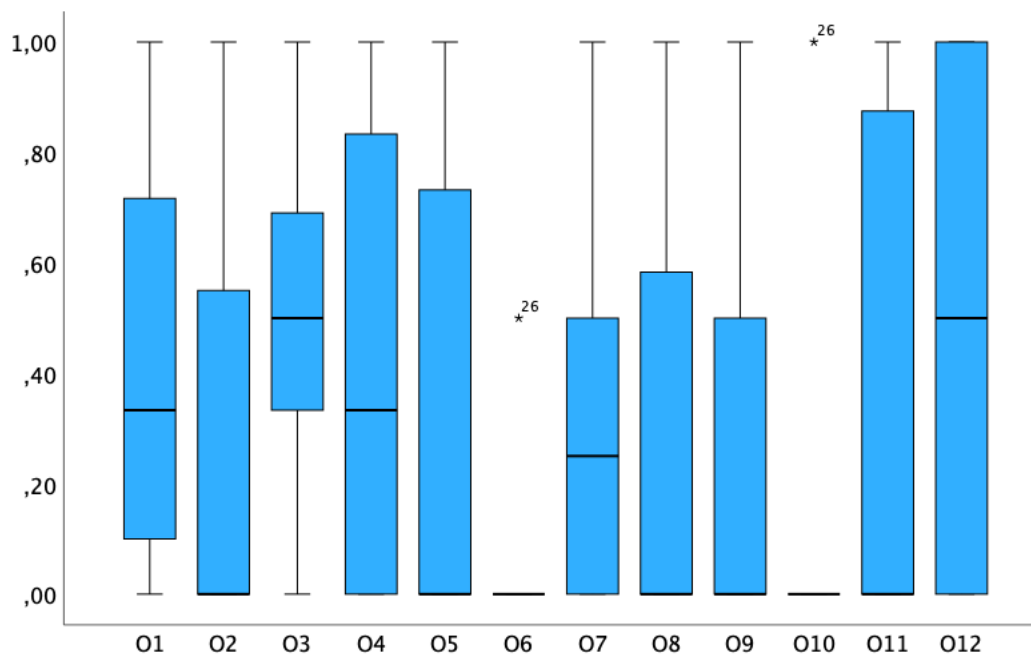


Abbildung 53 Verteilung relative Häufigkeit modellspezifischer Zusammenhänge je Aufgabe

Zusammenfassend deuten die Analysen darauf hin, dass die Items O6 (Reflexion Plastikoberfläche) und O10 (Reflexion an Wasseroberfläche) mit einer hohen Schwierigkeit *modellspezifische Zusammenhänge* zu formulieren einhergingen. Insgesamt weisen die Daten eine hohe Varianz auf, die nicht durch das Aufgabenmerkmal *Komplexität* oder der *Transparenz* aufgeklärt werden kann. Ferner sind die Ergebnisse, aufgrund des bestehenden Zusammenhangs mit der *deklarativen Modellkompetenz*, nur eingeschränkt interpretierbar. Sie liefern jedoch einen Hinweis darauf, dass mehr Studierende häufiger einen höheren Anteil an *modellspezifischen Zusammenhängen* bei dem *niedrigtransparenten* Item O3 (Dispersionsprisma) formulierten als bei den anderen Items.

14 ZUSAMMENFASSUNG UND DISKUSSION DER ERGEBNISSE

In der vorliegenden Studie wurde ein Verfahren zur Analyse naturwissenschaftlicher Beschreibungen entwickelt und anhand der Beschreibungen von ($N = 28$) Physiklehramtsstudierenden erprobt.

Im Rahmen des theoretischen Hintergrunds (Kap. 1-5) wurden Merkmale naturwissenschaftlicher Beschreibungen identifiziert, die bedeutsam für erfolgreiche Erkenntnis- und Problemlöseprozesse sind. Zu den Merkmalen zählen die *mittlere Anzahl an Kernaussagen*, die *Komplexität*, der *Theoretische Bezug*, die *Spezifität* und die *Linearisierung*. Zur Untersuchung dieser Merkmale wurde gemäß der qualitativen strukturierenden Inhaltsanalyse nach Mayring (2022) Kategoriensysteme entwickelt. Für die Analyse der identifizierten Merkmale wurden entsprechend der qualitativen strukturierenden Inhaltsanalyse nach Mayring (2022) Kategoriensysteme erstellt. Diese Systeme ermöglichten eine gezielte Untersuchung der Beschreibungen von Physiklehramtsstudierenden verschiedener Expertise-Niveaus, um Unterschiede in den Beschreibungsmerkmalen herauszuarbeiten. Nachfolgend werden die Hauptergebnisse der Studie zusammengefasst und diskutiert, um Grenzen und Erträge der Arbeit herauszuarbeiten.

14.1 ZUSAMMENFASSUNG UND INTERPRETATION DER HAUPTERGEBNISSE

FF1 Wie unterscheiden sich die naturwissenschaftlichen Beschreibungen Studierender unterschiedlicher Expertise bezüglich dieser Merkmale?

Im Rahmen der Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass sich die Beschreibungen von Studierenden unterschiedlicher *deklarativer Modellkompetenz* insbesondere hinsichtlich der mittleren Anzahl an *Kernaussagen*, der *Komplexität*, der *Linearisierung* und der *Modellspezifität* Varianz aufweisen (Kap. 12.7). Somit sind die Merkmale dazu geeignete Beschreibungen von Studierenden unterschiedlicher Expertise zu unterscheiden. Dabei konnte festgestellt werden, dass die Studierenden vorwiegend auf einer Modellebene beschreiben, diese sich jedoch hinsichtlich der *Spezifität* und der *Komplexität* unterscheiden. Dies deckt sich mit Befunden aus Studien zu Problemlöseprozessen, in denen beobachtet werden konnte, dass Lernende Probleme vorwiegend auf einer Oberflächenstruktur beschreiben, wohingegen Expert:innen Probleme auf einer Tiefenstruktur beschreiben (Heller & Reif, 1984; Larkin et al., 1980). Die Tiefenstruktur lässt sich durch die *Komplexität* und *Spezifität* von Aussagen auf der *Modellebene* abbilden, was folgend mit einem Beispiel dargestellt wird:

Modellunspezifischer Fakt: „Das Sonnenlicht wird an den Wolken gebrochen.“
(IM31A, O11 Abendrot)

Modellspezifischer Zusammenhang: „Dabei ist die Abhängigkeit der Streuung proportional zu der vierten Potenz der Frequenz des Lichts (f^4).“
(IFM24A, O11 Abendrot)

Die Untersuchungen ergeben, dass Studierende mit höherer *deklarativen Modellkompetenz* häufiger *modellspezifische* Zusammenhänge formulieren und die Beschreibungen einen stärkeren Fokus auf die Wechselwirkungen des Lichts haben.

Eine tiefere Analyse des Zusammenhangs legt nahe, dass die *deklarative Modellkompetenz* eine notwendige, aber keine hinreichende Bedingung zum Erstellen *komplexer* Beschreibungen darstellt. In Bezug auf die Formulierung *modellspezifischer Zusammenhänge* konnten starke signifikante Korrelationen festgestellt werden. Dabei kann das kombinierte Merkmal der *Modellspezifität* als Merkmal zum Unterscheiden verschiedener Qualitäten von *Zusammenhängen* herangezogen werden. Der Zusammenhang zwischen der *deklarativen Modellkompetenz* und *modellspezifischen* Zusammenhängen scheint plausibel, da der DekMo-O spezifisches deklaratives Wissen zu Zusammenhängen zwischen Merkmalen des Lichts und den Wechselwirkungen abfragt (Abbildung 54).

Wenn weißes Licht ein Glasprisma passiert, ist das austretende Lichtbündel aufgefächert in verschiedene Farben. Wie lässt sich dieses Phänomen erklären? Wählen Sie genau eine Antwort.	
Durch die geringere Geschwindigkeit des Lichts in Glas wird der Lichtstrahl an der Grenzfläche Glas/Luft gebrochen.	☐
Der Brechungswinkel hängt von der Wellenlänge ab, die Geschwindigkeit, mit der das Licht das Glas passiert, hängt aber nicht von der Wellenlänge ab.	☐
Sowohl der Brechungswinkel als auch die Geschwindigkeit hängen von der Frequenz ab.	☐
Durch Unreinheiten im Glas wird das weiße Licht absorbiert und die Energie anschließend mit unterschiedlichen Wellenlängen emittiert.	☐

Abbildung 54 Beispielaufgabe DekMo-O (Digel, 2018)

Insgesamt sollten die Stärke der Korrelationen nur vorsichtig interpretiert werden, denn einerseits handelte es sich dabei um eine kleine Stichprobe, deren Daten unter unterschiedlichen Versuchsbedingungen (digital vs. Präsenz) erhoben wurden, und andererseits konnte auf Aufgabenebene starke Unterschiede in der Varianz einzelner Beschreibungsmerkmale identifiziert werden. Außerdem beziehen sich die Untersuchungen der Merkmale *Theoretischer Bezug* und *Spezifität* auf eine Teilstichprobe ($N = 15$), bei denen Fälle anhand ihrer mittleren Anzahl an *Zusammenhängen* ausgewählt wurden. Dadurch werden die Ergebnisse womöglich verzerrt.

Die Analysen auf Aufgabenebene konnten weitere wichtige Erkenntnisse bezüglich der Beschreibungsmerkmale liefern.

FF2 Welcher Zusammenhang besteht zwischen Merkmalen der Beschreibungsaufgabe und den Merkmalen einer naturwissenschaftlichen Beschreibung?

Die Beschreibungsmerkmale weisen auf Aufgabenebene eine hohe Varianz auf. Da die Aufgabenmerkmale nicht systematisch unter der Kontrolle weiterer Aufgabenmerkmale variiert wurden, konnten nur erste Hinweise einzelner Aufgabenmerkmale auf einer deskriptiven Ebene identifiziert werden.

Aufgabenkomplexität und Anzahl von Kernaussagen und Zusammenhänge

Insgesamt enthalten die Beschreibungen zu Phänomenen *höherer Komplexität* erwartungsgemäß mehr *Kernaussagen* und *Zusammenhänge*. Dies lässt sich dadurch begründen, dass *hochkomplexe* Phänomene auf mehr Wechselwirkungen des Lichts basieren und entsprechend mehr *Zusammenhänge* und Eigenschaften identifiziert werden können. Dennoch konnten auch Aufgaben identifiziert werden, die trotz *geringer Komplexität*, wie die Entstehung des Abendrots (Komplexität: 1 Zusammenhang), eine durchschnittlich höhere Anzahl *Kernaussagen* und *Zusammenhänge* enthalten. Bei Phänomenen der Reflexion, die durch das Strahlenmodell beschrieben werden können (Komplexität: 1 Zusammenhang), wurden weniger *Kernaussagen* und *Zusammenhänge* identifiziert. Die Art der Wechselwirkung und das zur Beschreibung verwendete Lichtmodell scheinen ein weiteres Aufgabenmerkmal zu sein, das einen Einfluss auf die Anzahl an *Kernaussagen* und *Zusammenhänge* einer Beschreibung hat, da das Wellenmodell zum Beispiel mehr Eigenschaften von Licht berücksichtigt, die bei der Wechselwirkung eine Rolle spielen. Für weitere Untersuchungen sollte eine feinere Auflösung der Komplexitätsniveaus angestrebt werden (vgl. Kauertz, 2008).

Ferner konnten mithilfe deskriptiver Methoden keine Hinweise eines Zusammenhangs zwischen Aufgabenkomplexität und Aufgabenschwierigkeit identifiziert werden. Obwohl Studierende mit niedrigerer *deklarativen Modellkompetenz* zwar durchschnittlich weniger *Zusammenhänge* als Studierende mit höherer deklarativen Modellkompetenz tätigen, enthalten die Beschreibungen *hochkomplexer* Phänomene in beiden Gruppen dennoch durchschnittlich mehr *Kernaussagen* und *Zusammenhänge*. Um mögliche Zusammenhänge auf Aufgabenebene feiner aufzulösen, benötigt es statistische Verfahren, die das deklarative Modellwissen als Kovariate berücksichtigt (z. B. Regressionsmodelle).

Transparenz und Linearisierung und Modellspezifität

Hinsichtlich der *Transparenz* der Darstellung der Phänomene liefern die Untersuchungen Hinweise darauf, dass es den Studierenden leichter fällt, *modellspezifische Aussagen* und *modellspezifische Zusammenhänge* zu formulieren. Hierbei stellt sich heraus, dass dies insbesondere dann der Fall ist, wenn in der Darstellung der Lichtweg, die Wechselwirkung und der Zusammenhang einer Eigenschaft von Licht erkennbar ist, wie beispielsweise beim Dispersionsprisma, bei dem die frequenzabhängige Brechung in der Darstellung sichtbar ist.

Die deskriptiven Analysen deuten darauf hin, dass Beschreibungen *hochtransparenter* Darstellungen von Phänomenen einen deutlich höheren Anteil an Kernaussagen über Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie (*Linearisierung*) beinhalten als *niedrigtransparente* Darstellungen. Dies kann unabhängig von der *deklarativen Modellkompetenz* der Studierenden beobachtet werden.

Auch hinsichtlich der *Modellspezifität* kann bei den beiden Phänomenen zur Reflexion beobachtet werden, dass hier besonders selten *modellspezifische Aussagen* und fast keine *modellspezifischen Zusammenhänge* formuliert werden. Diese Phänomene scheinen mit einer erhöhten Schwierigkeit einherzugehen, *modellspezifische Aussagen* und *Zusammenhänge* zu formulieren.

Ferner konnten Aufgaben mit einer Merkmalcharakteristik identifiziert werden, die nicht durch die Aufgabenmerkmale *Transparenz* und *Komplexität* erklärt werden können. Außerdem konnten in den Analysen bei einigen Items zahlreiche Ausreißer identifiziert werden. Diese ‚Besonderheiten‘ könnten mithilfe von Fallanalysen auf Personenebene näher untersucht werden. Ein mögliches Vorgehen wird im Ausblick der Arbeit erläutert.

14.2 GÜTEKRITERIEN

In der vorliegenden Arbeit wurden umfassende Maßnahmen ergriffen, um die Gütekriterien der Studie – Objektivität, Reliabilität, Validität (Mayring, 2022) sowie Transparenz und Nachvollziehbarkeit (Göhner & Krell, 2020)– zu gewährleisten.

Objektivität: Zur Sicherstellung der Objektivität der Studie wurde ein Kodiermanual erstellt. Dieses Manual diene als Grundlage für die Kodierung, die von zwei unabhängigen Personen durchgeführt wurde. Diese methodische Herangehensweise minimiert subjektive Verzerrungen und gewährleistet, dass die Ergebnisse unabhängig von den individuellen Forschern reproduzierbar sind (ebd.). Darüber hinaus wurde die Entwicklung des Analyseverfahrens

sowie die Durchführung der Untersuchung transparent dargestellt, um eine objektive Nachvollziehbarkeit der Forschungsschritte zu ermöglichen (ebd.).

Reliabilität: Die Zuverlässigkeit des Analyseverfahrens wurde durch die Bestimmung der Inter-Rater-Reliabilität überprüft (Kap. 8.5), wodurch akzeptable bis gute Übereinstimmungen erzielt wurden ($K = .73$ - $K = .86$). Obwohl das Kategoriensystem zum *Theoretischen Bezug* und zur *Spezifität* lediglich eine ausreichende Übereinstimmung zwischen den Kodierern erzielt wurde, kann die Reliabilität durch die Anwendung einer Konsenskodierung gewährleistet werden. Dieser Schritt stellt sicher, dass die Bewertung des Materials auf einem gemeinsamen Verständnis basiert und erhöht somit die Zuverlässigkeit der Ergebnisse. Des Weiteren wurde die Reliabilität des Testinstruments der *deklarativen Modellkompetenz* von Digel (2018) mittels der internen Konsistenz Cronbach's Alpha überprüft. Hier konnte ein akzeptabler Wert erzielt werden ($\alpha_c = .720$). Da die Studie nicht darauf abzielte, Personenfähigkeiten abzubilden, sondern Beschreibung anhand von Merkmalen zu charakterisieren, ist dies für die vorliegende Studie ausreichend. Für zukünftige Studien, die Personenfähigkeiten zum Anfertigen naturwissenschaftlicher Beschreibungen untersuchen möchte, sollte dies jedoch berücksichtigt werden.

Validität: Die Validität der Studie wurde durch mehrere Strategien unterstützt. Erstens gewährleistete die Auswahl qualitativer Beschreibungen, die in enger Verbindung zum Untersuchungsgegenstand standen, eine hohe inhaltliche Validität (Mayring, 2022). Diese Methode ermöglichte Einblicke, die durch standardisierte Erhebungen wie beispielsweise Paper-Pencil-Tests möglicherweise nicht erfasst worden wären. Zweitens wurde die Kriteriumsvalidität nach Hartig et al. (2012) durch die Untersuchung eines theoretisch angenommenen Zusammenhangs zwischen dem Konstrukt der *deklarativen Modellkompetenz* und dessen Operationalisierung mittels des validierten Testinstruments DekMo-O von Digel (2018) überprüft. Hierbei konnten die zuvor angenommenen Zusammenhänge mithilfe von Korrelationsanalysen identifiziert werden. Da sich die Analysen nur auf eine kleine Stichprobe bezieht und es sich bei der Studie nicht um ein kontrolliertes experimentelles Design handelt, ist dies zunächst nur als ein Hinweis auf die Kriteriumsvalidität zu verstehen. Um die Validität der Studie zu erhöhen, sollten zukünftig auch externe Validitätskriterien, wie ein Expertenrating oder die Leistung im Problemlöseprozess, berücksichtigt werden.

Transparenz und Nachvollziehbarkeit: Um eine hohe Transparenz und Nachvollziehbarkeit (Göhner & Krell, 2020) der Studienergebnisse zu gewährleisten, wurden das Kodiermanual sowie die Auswertungen im elektronischen Anhang der Arbeit bereitgestellt. Diese Maßnahme

ermöglicht es anderen Forschenden, die Methodik und die Ergebnisse der Studie zu überprüfen und trägt somit zur wissenschaftlichen Integrität bei.

Zusammenfassend wurden in der Arbeit wichtige Maßnahmen zur Gewährleistung der Gütekriterien umgesetzt. Zukünftige Untersuchungen könnten sich insbesondere darauf konzentrieren, die Reliabilität der Kategoriensysteme durch weiterentwickelte Kodierverfahren oder zusätzliche Schulungen der Kodierenden zu verbessern. Des Weiteren könnten zusätzliche Maßnahmen die externen Validitätskriterien berücksichtigen, die Aussagekraft des Analyseverfahrens erhöhen (z: B. prozedurale Modellierkompetenz).

14.3 LIMITATIONEN DER STUDIE & ANKNÜPFUNGSPUNKTE ZUKÜNFTIGER FORSCHUNG

Die vorliegende Studie liefert wertvolle Hinweise über die Charakteristik von naturwissenschaftlichen Beschreibungen von Studierenden mit unterschiedlichem Expertise-Niveau. Die Interpretation und Generalisierbarkeit der Ergebnisse ist jedoch mit einigen Limitationen verbunden, die nachfolgend diskutiert werden.

Auswahl der Stichprobe und Thema

Das Analyseverfahren wurde anhand eines theoretischen Modells entwickelt, das anhand normativen Kompetenzmodellen der Erkenntnisgewinnung und Studien zu Problemlöseprozessen abgeleitet wurde. Die berücksichtigten Studien adressierten Lernende aller drei naturwissenschaftlichen Fächer Biologie, Chemie und Physik sowie Lernende vom Sekundarbereich I bis zur Hochschule. Dadurch bildet das theoretische Modell eine Grundlage für einerseits naturwissenschaftliche Beschreibungen domänenübergreifend und andererseits für Beschreibungen von Lernenden unterschiedlicher Bildungsstufen. Die konkrete Operationalisierung des Analyseverfahrens ist jedoch hinsichtlich der Generierung von *Kernaussagen* und der damit verbundenen Berechnung der *Linearisierung* domänenspezifisch. Das Verfahren wurde jedoch so entwickelt und ausführlich im Kodiermanual beschrieben, dass eine Anpassung für andere Themenbereiche vorgenommen werden kann.

Des Weiteren wurde das Analyseverfahren anhand der Beschreibungen von Physiklehramtsstudierenden operationalisiert. In weiteren Untersuchungen muss überprüft werden, ob die Operationalisierungen der Beschreibungsmerkmale in der Lage sind, Beschreibungen von Lernenden der Sekundarstufe I aufzulösen vermag. Dies kann durch feinere Graduierung der dichotomen Beschreibungsmerkmale ermöglicht werden.

Stichprobengröße und Untersuchungsbedingungen

Die Stichprobengröße von $N = 28$ bzw. $N = 15$ Studierenden ist zur Generierung allgemeingültiger Aussagen zu klein. Außerdem wurden die Daten aufgrund der Corona-Pandemie unter verschiedenen Bedingungen (14 digital und 14 in Präsenz) erhoben. Die Studierenden im digitalen Format hatten die Möglichkeit, Pausen einzulegen und den Zeitpunkt der Bearbeitung selbst zu wählen. Dies könnte zu Unterschieden in der Motivation und Ermüdung zwischen den Teilnehmenden geführt haben, was die Vergleichbarkeit der Ergebnisse beeinträchtigen kann. Diese Faktoren können die Generalisierbarkeit der Ergebnisse einschränken und die Ergebnisse verzerren.

Methodische Einschränkungen

Das Kategoriensystem fokussiert auf die Identifikation bestimmter Beschreibungsmerkmale. Daraus können noch keine Aussagen über die Qualität der Beschreibung getroffen werden. Zum Beispiel ergeben sich spezifische Einschränkungen bei sehr kurzen Beschreibungen. Hier ist es unter anderem möglich, dass eine Beschreibung aus einem *modellspezifischen Zusammenhang* besteht und hinsichtlich der *Komplexität*, des *Theoretischen Bezugs* und der *Spezifität* eine maximale Ausprägung aufweist. Um Rückschlüsse auf die Qualität einer Beschreibung schließen zu können, bedarf es einen Bewertungsmaßstab, wie ein Maß an Vollständigkeit, an Relevanz der Informationen in Bezug zur Forschungsfrage und an die fachliche Richtigkeit der gesamten Beschreibung. Zukünftige Forschungsarbeiten könnten sich mit der Entwicklung solcher Maßstäbe befassen. Dies würde einen wichtigen Beitrag für die Entwicklung diagnostischer Verfahren leisten. Die Kodierungen von Kernaussagen ist insbesondere für die Entwicklung eines Maßes für die Relevanz der Informationen und der Vollständigkeit anschlussfähig.

Aufgabenauswahl

Die *Komplexität* und *Transparenz* der Beschreibungsaufgaben wurden in dieser Studie identifiziert, jedoch nicht systematisch variiert oder kontrolliert. Diese Einschränkung verhindert eine präzise Analyse des Einflusses dieser Aufgabenmerkmale auf die Beschreibungsmerkmale. Außerdem werden hierdurch die Ergebnisse möglicherweise verzerrt. Eine systematische Variation und Kontrolle der Aufgabenmerkmale in zukünftigen Studien könnten tiefergehende Einblicke in deren Auswirkungen ermöglichen.

14.4 SCHLUSSFOLGERUNGEN & ERTRAG DER ARBEIT

Trotz der Limitationen leistet die Forschungsarbeit einen wichtigen Beitrag zu den geforderten prozessbezogenen Untersuchungen zum handelnden Umgang mit Modellen in Erkenntnisprozessen (Krüger et al., 2018). Sie liefert die Grundlage für die Entwicklung von Instrumenten für die Erfassung der Qualität von naturwissenschaftlichen Beschreibungen. Dies ermöglicht die Untersuchung des Zusammenhangs der Qualität einer Beschreibung und der Leistung in Erkenntnisprozessen. Zudem wird die Möglichkeit zum Sammeln wichtiger Hinweise zu entscheidenden Beschreibungsmerkmalen geschaffen, die für erfolgreiche Erkenntnis- und Problemlöseprozesse notwendig sind. Daraus lassen sich schließlich Fähigkeiten ableiten, die für das Erstellen adäquater Beschreibungen erforderlich sind und gezielt gefördert werden sollten. In diesem Zusammenhang leistet die Forschungsarbeit auch einen wichtigen Beitrag für die Entwicklung von diagnostischen Verfahren.

Unter Berücksichtigung der dargestellten Ergebnisse und Limitationen der Studie schließt die Arbeit mit der Formulierung folgender Hypothesen für weitere Untersuchungen naturwissenschaftlicher Beschreibungen ab:

- Hypothese 1: Eine hohe *deklarative Modellkompetenz* von Lernenden wirkt sich positiv auf das Formulieren von *Zusammenhängen* innerhalb naturwissenschaftlicher Beschreibungen aus.
- Hypothese 2: Eine hohe *deklarative Modellkompetenz* von Lernenden wirkt sich positiv auf das Formulieren *modellspezifischer* Zusammenhänge innerhalb naturwissenschaftlicher Beschreibungen aus.
- Hypothese 3: Die Transparenz der Phänomendarstellung hat einen positiven Einfluss auf das Formulieren von *Zusammenhängen* innerhalb naturwissenschaftlicher Beschreibungen.
- Hypothese 4: Die Transparenz der Phänomendarstellung hat einen positiven Einfluss auf das Formulieren von *modellspezifischen* Zusammenhängen innerhalb naturwissenschaftlicher Beschreibungen.
- Hypothese 5: Die Transparenz der Phänomendarstellung hat einen positiven Einfluss auf eine adäquate Linearisierung der naturwissenschaftlichen Beschreibung.

15 AUSBLICK

Im Rahmen der Analysen konnten Aufgaben mit einer Merkmalcharakteristik identifiziert werden, die nicht durch die Aufgabenmerkmale *Transparenz* und *Komplexität* erklärt werden können. Außerdem wurden sowohl im Rahmen der Untersuchungen zu Analysefokus I als auch zu Analysefokus II zahlreiche Ausreißer identifiziert. Diese ‚Besonderheiten‘ könnten mithilfe von Fallanalysen auf Personenebene näher untersucht werden. Hierzu können anhand der Merkmalsausprägungen Fallprofile erstellt werden, die es erlauben, spezifische Merkmalskonfigurationen zu analysieren und zu vergleichen. Dadurch könnten tiefere Erkenntnisse über die Zusammenhänge zwischen Beschreibungs- und Aufgabenmerkmale gewonnen werden. Abbildung 55 zeigt ein solches Fallprofil für die Merkmale *Theoretischer Bezug* und *Spezifität* auf Aussagebene.

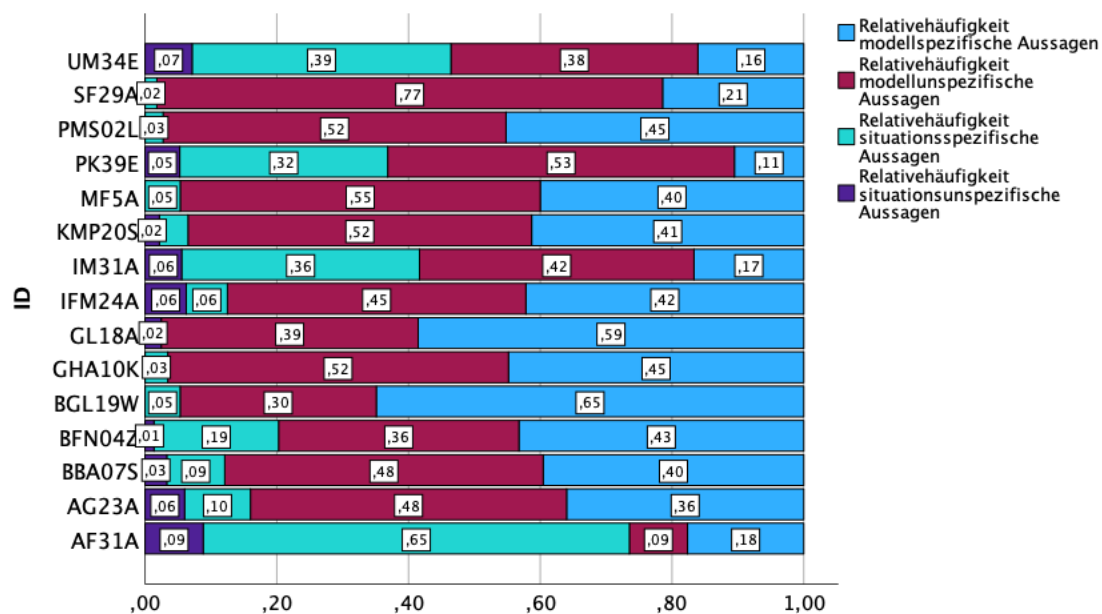


Abbildung 55 Fallprofil zu den Merkmalen theoretischer Bezug und Spezifität

In dieser Darstellung lässt sich unter anderem der Fall AF31A als ein Fall mit einer besonderen Merkmalscharakteristik identifizieren. Dieses zeichnet sich dadurch aus, dass die Beschreibungen vorwiegend Aussagen auf einer Situationsebene beinhaltet. Dieses Fallprofil kann auf Aufgabenebene finer aufgelöst werden (Abbildung 56). Wie man den nachfolgenden Abbildungen entnehmen kann, ist das über die Mittelwerte der Merkmalsausprägungen erstellte Profil, bis auf die Beschreibungen der *hochtransparenten* Items (O3, O4), robust.

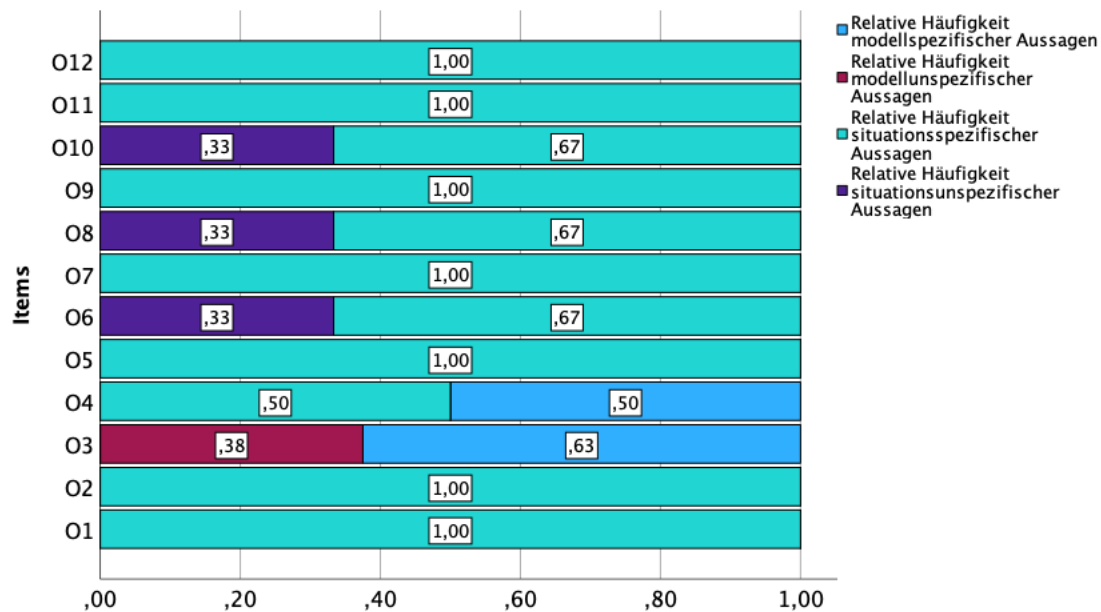


Abbildung 56 Aufgabenbasierte Verhältnisse spezifischer und unspezifischer Aussagen auf Modell- und Situationsebene des Falls AF31A

Nur bei den hochtransparenten Items O3 (Dispersionsprisma) und O4 (Totalreflexion Laserstrahl) formuliert AF31A Aussagen auf der Modellebene, wobei die Beschreibungen vollständig auf die Wechselwirkungen des Lichts zu fokussieren scheinen. Die anderen Phänomene beschreibt die Person hinsichtlich des Aussehens des Phänomens. Als repräsentatives Beispiel dient die Beschreibung des Phänomens ‚Regenbogen‘.

„Es ist ein etwa Halbkreisförmiger Bogen vor dunklem Hintergrund über dem Horizont zu sehen. Von innen nach außen weist der Bogen einen Farbverlauf von Lila nach rot über das gesamte Farbspektrum weissen Lichts auf. Die Lichtquelle scheint sich im Rücken des Betrachters zu befinden. Es ist Regen zu erkennen.“ (AF31A, O1)

Bei der *hochtransparenten* Darstellung des Phänomens, dem Dispersionsprisma, modelliert AF31A den Lichtweg und formuliert einen modellspezifischen Zusammenhang.³⁵ Dabei benennt die Person die Medien und beschreibt die an der Grenzfläche stattfindende Wechselwirkung:

„Ein weisser Lichtstrahl trifft auf ein Prisma in Form eines gleichseitigen Dreiecks. Ein Teil des Strahls wird reflektiert und ein Teil durchdringt das Prisma. Der durchdringende Teil verlässt das Prisma auf der Rückseite wieder, wo das weisse Licht dann in sein Farbspektrum zerlegt wird. Das Licht wird am Übergang von Luft in Glas zum Lot hin gebrochen und beim Austritt vom Lot weg gebrochen. Beim Austritt wird Lila am stärksten und rot am schwächsten gebrochen.“ (AF31A, O3)

³⁵ Der Zusammenhang ist in der Beschreibung unterstrichen.

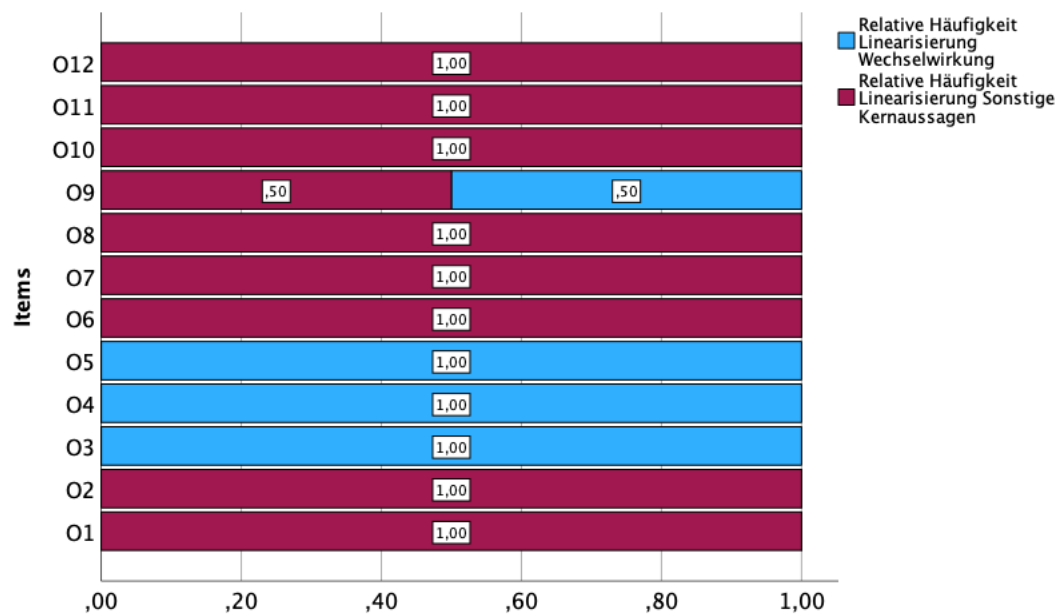


Abbildung 57 Aufgabenbasierte Verhältnisse Linearisierung gemäß den Wechselwirkungen des Lichts und Materie des Falls AF31A

Insgesamt bildet das erstellte Profil (Abbildung 57) anhand der mittleren Merkmalsausprägung die Beschreibungen ‚gut‘ ab. Es lässt sich erkennen, dass AF31A sich auf die Beschreibung der Sichtebeine konzentriert und keine Interpretationen anhand von Modellen vornimmt, sofern keine eindeutige Indikation auf Sichtebeine vorliegt. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass das Verständnis darüber, was eine naturwissenschaftliche Beschreibung charakterisiert, eine Rolle bei der Anfertigung der Beschreibungen spielt. Hier könnte zum Beispiel das Verständnis vorliegen, dass Beobachtung und Deutung voneinander getrennt werden sollten und daher keine Interpretationen vorgenommen werden dürfen.

Die exemplarische Analyse eines Fallprofils verdeutlicht, dass anhand des vorliegenden Datenmaterials zahlreiche ergänzende Untersuchungen vorgenommen werden können, um weitere Zusammenhänge zwischen Aufgaben-, Personen- und Beschreibungsmerkmale zu identifizieren.

16 LITERATURVERZEICHNIS

- Baumert, J. (2001). *Deutschland im internationalen Bildungsvergleich: Vortrag von Prof. Dr. Jürgen Baumert anlässlich des dritten Werkstattgespräches der Initiative McKinsey bildet, im Museum für ostasiatische Kunst, Köln* [Germany in an international education comparison]. <http://www.gaebler.info/pisa/baumert.pdf>
- Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M., Prenzel, M., Schiefele, U., Schneider, W., Tillmann, K.-J. & Weiß, M. (1999). *Internationales und nationales Rahmenkonzept für die Erfassung von naturwissenschaftlicher Grundbildung in PISA*. <http://hdl.handle.net/21.11116/0000-0001-B094-0>
- Bortz, J. [Jurgen], Lienert, G. & Boehnke, K. (2008). *Verteilungsfreie methoden in der biostatistik*. Springer Medizin Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74707-9>
- Bortz, J. [Jürgen] & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage). *Springer-Lehrbuch*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-12770-0>
- Brandenburger, M. (2016). *Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik? Eine Untersuchung mit Studierenden*. Logos Verlag Berlin. <https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/56744> <https://doi.org/10.30819/4409>
- Brennan, R. L. & Prediger, D. J. (1981). Coefficient Kappa: Some Uses, Misuses, and Alternatives. *Educational and Psychological Measurement*, 41(3), 687–699. <https://doi.org/10.1177/001316448104100307>
- Bybee, R. W. (1997). *Achieving scientific literacy: From purposes to practices*. Heinemann. <https://eric.ed.gov/?id=ed461491>
- Chi, M. T. H., Feltovich, P. J. & Glaser, R. (1981). Categorization and Representation of Physics Problems by Experts and Novices *Cognitive Science*, 5(2), 121–152. https://doi.org/10.1207/s15516709cog0502_2
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2nd ed.). Taylor and Francis. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>
- Dietrich, R. & Gerwien, J. (2017). *Psycholinguistik: Eine Einführung* (3., aktualisierte und erweiterte Auflage). *Lehrbuch*. J. B. Metzler Verlag.
- Digel, S. (2018). *Messung von Modellierungskompetenz in Physik.: Theoretische Herleitung und empirische Prüfung eines Kompetenzmodells physikspezifischer Modellierungskompetenz* [Dissertation]. Universität Koblenz-Landau, Landau.
- Docktor, J., Heller, K., Sabella, M., Henderson, C. & Singh, C. (2009). Assessment of Student Problem Solving Processes. *AIP Conference Proceedings*, 1179(1), 133–136. <https://doi.org/10.1063/1.3266696>
- Docktor, J., Strand, N. E., Mestre, J. P. & Ross, B. H. (2015). Conceptual problem solving in high school physics. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 11(2). <https://doi.org/10.1103/physrevstper.11.020106>
- Fischler, H., Gebhard, U. & Rehm, M. (2018). Naturwissenschaftliche Bildung und Scientific Literacy. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (1. Auflage 2018, S. 11–29). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_2
- Gentner, D. & Stevens, A. L. (1983). *Mental models*. *Cognitive science*. Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9781315802725>

- Gilbert, J. K., Boulter, C. J. & Elmer, R. (2000). *Developing models in science education* (Developing Models in Science Education). Springer Science+Business Media, LLC.
- Glug, I. (2009). *Entwicklung und Validierung eines Multiple-Choice-Tests zur Erfassung prozessbezogener naturwissenschaftlicher Grundbildung* [Dissertation, IPN, Kiel]. Kiel Universitätsbibliothek. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:8-diss-36491>
- Göhner, M. & Krell, M. (2020). Qualitative Inhaltsanalyse in naturwissenschaftsdidaktischer Forschung unter Berücksichtigung von Gütekriterien: Ein Review. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 26(1), 207–225. <https://doi.org/10.1007/s40573-020-00111-0>
- Gouvea, J. & Passmore, C. (2017). ‘Models of’ versus ‘Models for’. *Science & Education*, 26(1-2), 49–63. <https://doi.org/10.1007/s11191-017-9884-4>
- Gräber, W. (2002). „Scientific Literacy“ - Naturwissenschaftliche Bildung in der Diskussion. *Qualitätsentwicklung im naturwissenschaftlichen Unterricht. Fachtagung am 15. Dezember 1999, Materialien zur Bildungsforschung*. <https://doi.org/10.25656/01:3443>
- Greca, I. M. & Moreira, M. A. (2002). Mental, physical, and mathematical models in the teaching and learning of physics. *Science Education*, 86(1), 106–121. <https://doi.org/10.1002/sce.10013>
- Grube, C. (2011). *Kompetenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung*. kobra.uni-kassel.de. <https://kobra.uni-kassel.de/handle/123456789/2011041537247>
- Hartig, J., Frey, A. & Jude, N. (2012). Validität. In H. Moosbrugger (Hrsg.), *Springer-Lehrbuch. Testtheorie und Fragebogenkonstruktion: Mit 66 Abbildung und 41 Tabellen* (2., aktual. und überarb. Aufl., S. 143–171). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20072-4_7
- Heinemann, W. (2000). Vertextungsmuster Deskription. In K. Brinker (Hrsg.), *Handbücher zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft / Handbooks of Linguistics and Communication Science (HSK): 16/1. Text- und Gesprächslinguistik: Ein internationales Handbuch zeitgenössischer Forschung / An International Handbook of Contemporary Research*. De Gruyter Mouton.
- Heller, J. I. & Reif, F. (1984). Prescribing Effective Human Problem-Solving Processes: Problem Description in Physics. *Cognition and Instruction*, 1(2), 177–216. https://doi.org/10.1207/s1532690xci0102_2
- Johnson-Laird, P. N. (2004). *Psychology of reasoning: theoretical and historical perspectives: Johnson-Laird, P. N. (2004). The history of mental models. In K. Manktelow & M. C. Chung (Hrsg.), Psychology of reasoning: theoretical and historical perspectives (S. 179–212). New York: Psychology Press.*
- Kauertz, A. (2008). *Schwierigkeitserzeugende Merkmale physikalischer Leistungstestaufgaben*. Zugl.: Duisburg-Essen, Univ., Diss., 2007. *Studien zum Physik- und Chemielernen: Bd. 79*. Logos Verlag Berlin.
- Klahr, D. (2000). *Exploring science: The cognition and development of discovery processes*. MIT.
- Klahr, D. & Dunbar, K. (1988). Dual Space Search During Scientific Reasoning. *Cognitive Science*, 12(1), 1–48. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1201_1
- KMK. (2005a). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den mittleren Schulabschluss*. Luchterhand.
- KMK. (2005b). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den mittleren Schulabschluss*. Luchterhand.

- KMK. (2005c). *Bildungsstandards im Fach Physik für den mittleren Schulabschluss*. Luchterhand.
- KMK. (2020). *Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.06.2020)*. Carl Link.
- Kohlhauf, L. (2013). *Spielend biologisch beobachten: Messung und Förderung biologischer Beobachtungskompetenz im Vorschulalter*. Dissertation§. *Biologie lernen und lehren: Bd. 3* [179 Seiten]. Logos-Verl.
- Kohlhauf, L., Rutke, U. & Neuhaus, B. (2011a). Entwicklung eines Kompetenzmodells zum biologischen Beobachten ab dem Vorschulalter. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 17, 203–222. https://archiv.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/17_Kohlhauf.pdf
- Kohlhauf, L., Rutke, U. & Neuhaus, B. (2011b). Influence of Previous Knowledge, Language Skills and Domain-specific Interest on Observation Competency. *Journal of Science Education and Technology*, 20(5), 667–678. <https://doi.org/10.1007/s10956-011-9322-3>
- Krell, M., Upmeier zu Belzen, A. & Krüger, D. (2016). Modellkompetenz im Biologieunterricht. In A. Sandmann & P. Schmiemann (Hrsg.), *Biologie lernen und lehren: Band 1. Biologiedidaktische Forschung: Schwerpunkte und Forschungsstände: Schwerpunkte und Forschungsstände* (S. 83–102). Logos Verlag.
- Krüger, D., Kauertz, A. & Upmeier zu Belzen, A. (2018). Modelle und das Modellieren in den Naturwissenschaften. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Lehrbuch. Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 141–157). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_9
- Kulgemeyer, C. (2010). *Physikalische Kommunikationskompetenz: Modellierung und Diagnostik*. Logos Verlag Berlin GmbH.
- Kürschner, W. (2017). *Grammatisches Kompendium*. utb GmbH. <https://doi.org/10.36198/9783838546933>
- Labudde, P. & Möller, K. (2012). Stichwort: Naturwissenschaftlicher Unterricht. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 15(1), 11–36. <https://doi.org/10.1007/s11618-012-0257-0>
- Larkin, J., McDermott, J., Simon, D. P. & Simon, H. A. (1980). Expert and novice performance in solving physics problems. *Science*, 208(4450), 1335–1342. <https://doi.org/10.1126/science.208.4450.1335>
- Löffler, P. (2016). *Modellanwendung in Problemlöseaufgaben -Wie wirkt Kontext?* [Dissertation, Universität Koblenz-Landau, Landau]. WorldCat.
- Louca, L. T. & Zacharia, Z. C. (2012). Modeling-based learning in science education: cognitive, metacognitive, social, material and epistemological contributions. *Educational Review*, 64(4), 471–492. <https://doi.org/10.1080/00131911.2011.628748>
- Maisano, M.-L. (2019). *Beschreiben und Erklären beim Lernen von Mathematik*. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-25370-7>
- Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger (Hrsg.), *Springer-Lehrbuch. Theorien in der biologiedidaktischen Forschung: Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden ; mit 12 Tabellen* (S. 177–186). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68166-3_16
- Mayring, P. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (Neuausgabe). Beltz Verlagsgruppe. <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflicht-2019387>

- Müller, A. (2003). Fehlertypen und Fehlerquellen beim Physiklernen: Was weiß die Denkpsychologie? *Praxis der Naturwissenschaften: Physik / Physik in der Schule*, 2–10.
- Nerdel, C. (2017a). Naturwissenschaftliche Kompetenzen und Bildungsstandards. In C. Nerdel (Hrsg.), *Grundlagen der Naturwissenschaftsdidaktik* (S. 13–36). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-53158-7_2
- Nerdel, C. (2017b). Naturwissenschaftliches Arbeiten. In C. Nerdel (Hrsg.), *Grundlagen der Naturwissenschaftsdidaktik* (S. 113–148). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-53158-7_7
- Nies, B. (2013). *Totalreflexion* (Foto: Bernd Nies/ nies.ch, CC BY 4.0). <https://www.nies.ch/gal/diving/samarangersee/index.de.php#fig-4>
- Nitz, S. & Fechner, S. (2018). Mentale Modelle. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Lehrbuch. Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 69–86). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_5
- NRC. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. National Academies Press. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=457898>
- OECD. (2017). *PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic, Financial Literacy and Collaborative Problem Solving*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264281820-en>
- Osborne, J. (2023). Science, Scientific Literacy, and Science Education. In N. G. Lederman, D. L. Zeidler & J. S. Lederman (Hrsg.), *Handbook of Research on Science Education* (S. 785–816). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780367855758-30>
- Popper, K. (1994). *Logik der Forschung*. Mohr.
- Rädiker, S. & Kuckartz, U. (2019). Intercoder-Übereinstimmung analysieren. In S. Rädiker & U. Kuckartz (Hrsg.), *Lehrbuch. Analyse qualitativer Daten mit MAXQDA: Text, Audio und Video* (S. 287–303). Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH; Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-22095-2_19
- Redder, A., Guckelsberger, S. & Barbara Graßer. (2013). *Mündliche Wissensprozessierung und Konnektierung*. Waxmann Verlag GmbH.
- Robberts, D. A. (2010). Scientific literacy/science literacy. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Hrsg.), *Handbook of research on science education* (Reprint). Routledge. <https://api.taylorfrancis.com/content/chapters/edit/download?identifiername=doi&identifiervalue=10.4324/9780203824696-29&type=chapterpdf>
- Rothe, H.-J. & Schindler, M. (1996). Expertise und Wissen. In H. Gruber (Hrsg.), *Expertiseforschung: Theoretische und Methodische Grundlagen* (S. 35–57). VS Verlag für Sozialwissenschaften GmbH. https://doi.org/10.1007/978-3-663-12111-4_3
- Schecker, H. & Parchmann, I. (2006). Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12(1), 45–66.
- Schiepe-Tiska, A., Rönnebeck, S. & Neumann, K. (2019). Naturwissenschaftliche Kompetenz in PISA 2018 - aktueller Stand, Veränderungen und Implikationen für die naturwissenschaftliche Bildung in Deutschland. In K. Reiss, M. Weis, E. Klieme & O. Köller (Hrsg.), *PISA 2018: Grundbildung im internationalen Vergleich* [1. Auflage], S. 211–240). Waxmann.

- Sokoloff, D. R. (Hrsg.). (2006). *Active learning in optics and photonics: training manual*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000217100>
- Straube, P. (2016). *Modellierung und Erfassung von Kompetenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung bei (Lehramts-) Studierenden im Fach Physik*. Logos Verlag Berlin. <https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/56824> <https://doi.org/10.30819/4351>
- Stutterheim, C. von. (1997). *Einige Prinzipien des Textaufbaus: Empirische Untersuchungen zur Produktion mündlicher Texte. Reihe Germanistische Linguistik: Bd. 184*. De Gruyter. <http://gbv.eblib.com/patron/FullRecord.aspx?p=3050040>
<https://doi.org/10.1515/9783110918496>
- Stutterheim, C. von & Kohlmann, U. (2001). Beschreiben im Gespräch. In K. Brinker, G. Antos, W. Heinemann & S. F. Sager (Hrsg.), *Handbücher zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft /HSK]: Bd. 16.2. Text- und Gesprächslinguistik: Ein internationales Handbuch zeitgenössischer Forschung = Linguistics of text and conversation : an international handbook of contemporary research* (S. 1279–1292). De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110169188.2.18.1279>
- Tajmel, T. (Hrsg.). (2017). *Research. Naturwissenschaftliche Bildung in der Migrationsgesellschaft: Grundzüge einer reflexiven Physikdidaktik und kritisch-sprachbewussten Praxis*. Springer VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-17123-0>
- Tiedemann, K. (2020). Praktiken des Beschreibens – Zu Funktionen der Sprache bei der Erarbeitung des Teilschrittverfahrens im Zahlenraum bis 100. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 41(1), 11–41. <https://doi.org/10.1007/s13138-020-00161-4>
- Tipler, P. A. & Mosca, G. (2007). *Physik: für Wissenschaftler und Ingenieure*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-54166-7>
- Treagust, D. F., Chittleborough, G. D. & Mamiala, T. L. (2004). Students' Understanding of the Descriptive and Predictive Nature of Teaching Models in Organic Chemistry. *Research in Science Education*, 34(1), 1–20. <https://doi.org/10.1023/B:RISE.0000020885.41497.ed>
- Trump, S. S. (2015). *Mathematik in der Physik der Sekundarstufe II !? Eine Benennung notwendiger mathematischer Fertigkeiten für einen flexiblen Umgang mit Mathematik beim Lösen physikalisch-mathematischer Probleme im Rahmen der Schul- und Hochschulbildung sowie eine systematische Analyse zur notwendigen Mathematik in der Physik der Sekundarstufe II* [Dissertation]. Universität Potsdam, Potsdam.
- Vorholzer, A. & Aufschnaiter, C. von (2020). Dimensionen und Ausprägungen fachinhaltlicher Kompetenz in den Naturwissenschaften – ein Systematisierungsversuch. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 26(1), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s40573-020-00107-w>
- Vorholzer, A., Aufschnaiter, C. von & Kirschner, S. (2016). Entwicklung und Erprobung eines Tests zur Erfassung des Verständnisses experimenteller Denk- und Arbeitsweisen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22(1), 25–41. <https://doi.org/10.1007/s40573-015-0039-3>
- Wagner, S. (2017). *Erklärung physikalischer Phänomene mit Modellen: Entwicklung und Anwendung eines Verfahrens zur Analyse sprachlicher Erklärungen* [Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin]. RIS. <https://search.proquest.com/openview/24a190c520ffb6a06e5a20dff394b815/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>
- Wellnitz, N., Hecht, M., Heitmann, P., Kauertz, A., Mayer, J., Sumfleth, E. & Walpuski, M. (2017). Modellierung des Kompetenzteilsbereichs naturwissenschaftliche Untersuchungen.

Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 20(4), 556–584. <https://doi.org/10.1007/s11618-016-0721-3>

Wellnitz, N. & Mayer, J. (2013). Erkenntnismethoden in der Biologie – Entwicklung und Evaluation eines Kompetenzmodells. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 315–345.

Wirtz, M. A. (2017). *Dorsch – Lexikon der Psychologie*: <https://portal.hogrefe.com/dorsch/inferenz>. <https://portal.hogrefe.com/dorsch/inferenz/>.

17 LEBENSLAUF

Wissenschaftlicher Werdegang

Seit 01/2024	Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Zentrum für Lehrerbildung an der Rheinland-Pfälzischen Technischen Universität Kaiserslautern-Landau, am Standort Landau
Seit 01/2023	Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Rheinland-Pfälzischen Technischen Universität Kaiserslautern-Landau, am Standort Landau
03/2020-12/2023	Mitarbeit am vom BMBF geförderten Drittmittelprojekt „Webbasierte Lern-Tools für die Lehrkräftebildung- WeLT“
11/2018- 03/2020	Mitarbeit am vom BMBF geförderten Drittmittelprojekt „Transfer virtueller Labore in den schulischen Unterricht“
09/2015- 12/22	Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Universität Koblenz-Landau, Abteilung Physikdidaktik.
12/2012- 03/2014	Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Universität Koblenz-Landau, Abteilung Physikdidaktik. Mitarbeit am vom BMBF geförderten Drittmittelprojekt „Professionalisierung von Fachkräften im Elementarbereich.
04/2008-07/2015	Studium der Physik und Mathematik auf gymnasiales Lehramt an der Universität Koblenz-Landau mit den Abschlüssen B.Ed. und M.Ed.

18 ANHANG

Alle Materialien der Studie können per Mail angefragt werden: k.gierl@rptu.de

- Liste Phänomene
- Fragebögen
- Kodiermanual

19 EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich, dass ich die beigefügte Dissertation selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel genutzt habe. Alle wörtlich oder inhaltlich übernommenen Stellen habe ich als solche gekennzeichnet.

Ich versichere außerdem, dass ich die beigefügte Dissertation nur in diesem und keinem anderen Promotionsverfahren eingereicht habe und, dass diesem Promotionsverfahren keine endgültig gescheiterten Promotionsverfahren vorausgegangen sind.

Landau in der Pfalz, 08.03.2024

20 NUTZUNG VON GENERATIVEN MODELLEN

Im Rahmen der Arbeit wurden nachfolgende generative Modelle zur Korrektur von Rechtschreibung und Grammatik genutzt:

- Chatgpt
- mimir-mentor
- Languagetool