

Wissenschaftstheoretische Vorstellungen über die Theoretische Physik

- Expertenansichten über das Verhältnis von Experimentalphysik und Theoretischer Physik -

Antje Heine, Gesche Pospiech

TU Dresden, Professur für Didaktik der Physik, Haackelstraße 3, 01069 Dresden
antje_juliane.heine@tu-dresden.de, gesche.pospiech@tu-dresden.de

Kurzfassung

Ein Ziel des Physiklehramtsstudiums ist nicht nur die Vermittlung fachlichen Wissens, sondern auch die Förderung eines angemessenen Bildes über die Natur der Physik. Dies umfasst jedoch neben der experimentellen Seite der Physik auch ihre mathematisch-theoretische Herangehensweise. Ziel dieser empirischen Untersuchung ist die Rekonstruktion von wissenschaftstheoretischen Vorstellungen von Studierenden (Lehramts- und Fachstudenten) und Experten (Experimentalphysiker, Theoretische Physiker, Fachdidaktiker) über die Theoretische Physik. Dabei stehen die Studierenden im Zentrum der Erhebung. Schwerpunkt der folgenden Darstellungen bilden jedoch die Expertenansichten über das Verhältnis von Experimentalphysik und Theoretischer Physik, wobei zum einen das entstandene Kategoriensystem der qualitativen Auswertung und zum anderen gefundene Muster innerhalb der Expertenantworten vorgestellt werden.

1. Motivation

Die Theoretische Physik stößt besonders im Lehramtsstudium auf das Problem des geringen Interesses der Studierenden an diesem Gebiet, was mit Sicherheit auch im Zusammenhang mit der geringen Bedeutung steht, welche diesem Teilbereich entgegengebracht wird (vgl. [1]). Die DPG forderte daher im Rahmen eines Lehramtsstudiums *sui generis* vor allem in der Theoretischen Physik lehramtspezifische Veranstaltungen (vgl. [2], [3]). Im Zusammenhang damit stellt sich jedoch gleichzeitig die Frage, was eine lehramtspezifische Veranstaltung in der Theoretischen Physik charakterisiert und von jener für Fachwissenschaftler unterscheidet. Sinnvoll und notwendig wäre hierbei vor allem eine eigenständige Neukonzeption anstelle einer bloßen Verdichtung und Kürzung der Inhalte.

Müller und Wilkens [4] stellen in ihrem Artikel das sogenannte Verfügungswissen (fachliche Kompetenzen, Anwenden von Methoden) dem Überblickswissen gegenüber. Letzteres umfasst übergeordnete Themen, wie das Verhältnis von Theoretischer und Experimentalphysik oder auch die Rolle der Theorie im Aufbau der Physik und ist vor allem im Lehramtsstudium als zentrales Vermittlungsziel anzusehen. Damit steht nicht nur das „Handhaben“ des mathematischen Formalismus im Vordergrund, sondern auch das „Verstehen“ der physikalischen Theorien. Jenes Überblickswissen ist durch einen wissenschaftstheoretischen Hintergrund gekennzeichnet und bildet den Kern meiner empirischen Untersuchungen. Inwieweit sind Teilaspekte eines solchen Überblickswissens bei Studierenden vorhanden respektive wie ausgeprägt und differenziert ist deren Bild über die Theoretische Physik?

2. Theoretischer Hintergrund

Insgesamt lässt sich die vorliegende Arbeit in den Bereich der Forschung über die *Natur der Naturwissenschaften (NdN)* oder, wie es im angloamerikanischen Raum genannt wird, *Nature of Science (NoS)*, einordnen. Dabei spielt auch die wissenschaftstheoretische Betrachtung der Theoretischen Physik eine Rolle, wobei im Folgenden der Schwerpunkt auf der Darstellung des Wechselspiels von Theoretischer und Experimentalphysik liegen soll.

2.1. Die Natur der Naturwissenschaften

Betrachtet man die drei Bereiche der Natur der Naturwissenschaften: wissenschaftstheoretische, erkenntnistheoretische und wissenschaftsethische Aspekte (vgl. u.a. [5], [6]), so lässt sich diese Arbeit vor allem dem Teilgebiet der Wissenschaftstheorie zuordnen, welches beispielsweise auch historische Betrachtungen oder die Ansichten der Wissenschaftler umfasst (vgl. [6]). In der Schule und im Physikunterricht sollten alle drei Aspekte eine Rolle spielen und vom Lehrer explizit vermittelt werden. In den National Science Standards ist jenes Ziel formuliert als: „Students should develop an understanding of what science is, what science is not, what science can and cannot do, and how science contributes to culture“ [7]. Um diese Bestrebungen zu erfüllen, gehört es jedoch zu einer Grundvoraussetzung, dass auch die Lehrperson Wissen über die Natur der Naturwissenschaften besitzt, weshalb dies oft Bestandteil des Curriculums eines Lehramtsstudiums ist bzw. sein sollte.

Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen ist daher oftmals die Frage, inwieweit dieses Metawissen über die Naturwissenschaften bzw. die Physik

bei Schülern, Studierenden oder Lehrkräften vorhanden ist. Man findet bereits zahlreiche Untersuchungen zum Wesen der Naturwissenschaften im Allgemeinen (Vorläufigkeit naturwissenschaftlichen Wissens, Rolle der Kreativität usw.) (u.a. [8], [9]), zum Teil auch mit einem Fokus auf der Rolle des Experiments (u.a. [10], [11]). Eine Forschungslücke zeigt sich allerdings im Bereich der empirischen Untersuchungen zu Vorstellungen über die Theoretische Physik oder Rolle der Mathematik. Letztere untersuchte Krey [12] im Rahmen seiner Promotion, wobei er sich sowohl auf wissenschaftstheoretischer Ebene der Thematik näherte, als auch die Vorstellungen von Schülern und Studierenden erhob.

Es zeigt sich außerdem, dass die theoretisch-mathematische Seite der Physik im Gegensatz zur experimentellen nicht nur als Forschungsgegenstand vernachlässigt wurde, sondern auch in den Vorstellungen der Physiklernenden unterrepräsentiert ist. Diese weisen ein stark empiristisch geprägtes Bild der Physik auf und gehen zum Teil von einer Vorrangstellung des Experiments gegenüber der Theorie aus (vgl. [13], [14]). Dadurch ergibt sich die Notwendigkeit, im Studium auch auf wissenschaftstheoretische Inhalte einzugehen und ebenso Vorstellungen darüber empirisch zu erfassen.

2.2. Das Wesen der Theoretischen Physik

Die Frage danach, was Theoretische Physik eigentlich ist, lässt sich keineswegs leicht beantworten und in wenigen Sätzen zusammenfassen, da verschiedene Aspekte Beachtung finden sollten (s. Abb. 1).

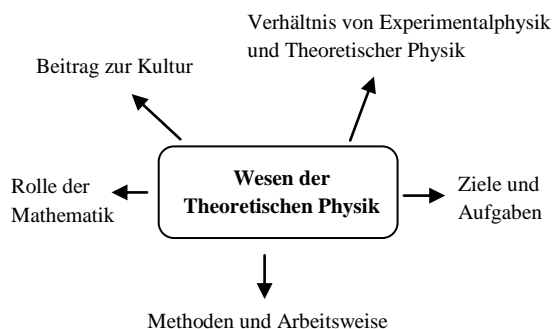


Abb.1: Aspekte des Wesens der Theoretischen Physik

Im Wörterbuch Physik [15] findet man eine Definition von Theoretischer Physik, welche den Fokus vor allem auf das Wechselspiel von Experimentalphysik und Theoretischer Physik legt. Demnach ist die Theoretische Physik ein „Teil der Physik, in dem erst die in der Natur beobachteten Zusammenhänge (Experimentalphysik) analysiert und miteinander kombiniert werden, um daraus Regeln, Gesetze oder ev. umfassendere Theorien zu erarbeiten, die dann weiteren experimentellen Prüfungen und Bestätigungen unterworfen werden“. Auch wenn zur Charakterisierung der Theoretischen Physik auf weitere Aspekte eingegangen werden sollte, wie die Arbeitsweise oder Ziele und Aufgaben der Theoreti-

schen Physik, so werden sich die folgenden Darlegungen auf das Verhältnis von Experimentalphysik und Theoretischer Physik beschränken, welches durch das Wechselspiel von Experiment und Theorie gekennzeichnet ist.

David Hilbert [16] äußerte sich in seinen Vorlesungen „Natur und mathematisches Erkennen“ über erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Zusammenhänge mathematischer und physikalischer Erkenntnisse und ging dabei auch auf die Beziehung zwischen Theorie und Experiment ein. Er unterschied vier typische Fälle und warnte vor der gängigen Meinung, dass die Hypothesenbildung immer den Ausgangspunkt physikalischer Erkenntnisgewinnung darstellt und das Experiment zwischen verschiedenen Hypothesen zu entscheiden hat. Die vier verschiedenen Fälle, welche Hilbert vorstellt, sollen der Tatsache gerecht werden, dass manchmal die Theorie und manchmal das Experiment die führende Rolle einnimmt.

Der erste Fall umschreibt beispielsweise eine Situation, bei der experimentell gefundene Tatsachen durch eine Theorie erklärt werden sollen und somit das Experiment den Ausgangspunkt bildet. Jedoch macht die Theorie wiederum Vorhersagen, welche experimentell überprüft werden können, weshalb die Visualisierung durch einen Doppelpfeil gekennzeichnet wird (s. Abb. 2, Fall A). Ebenso kann jedoch auch der umgedrehte Fall auftreten, bei dem eine Theorie aufgestellt wird, welche dann in nachfolgenden Experimenten bestätigt oder widerlegt wird (Fall B). Ein historisches Beispiel hierfür ist die Entwicklung der Maxwellschen Theorie und die darauffolgende experimentelle Bestätigung durch Heinrich Hertz und den Nachweis der Existenz elektromagnetischer Wellen. Diese Komplexität des ständigen Wechselspiels von Experiment und Theorie wird in Abb. 2 versucht, mit Hilfe der Doppelpfeile zu verdeutlichen.

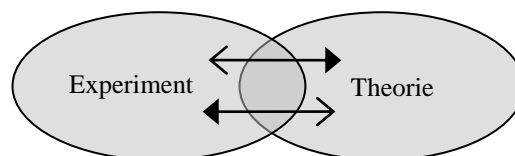


Abb.2: Beziehung zwischen Experiment und Theorie (Fall A und B)

Es gibt allerdings auch den Fall – und auch hierfür lassen sich historische Beispiele finden – bei dem das Experiment die führende Rolle einnimmt und mit ihm ganz neue Gebiete der Physik erschlossen werden (s. Abb. 3, Fall C). In der Geschichte war dies unter anderem durch das Experiment von Oersted möglich, welches zum ersten Mal einen Zusammenhang zwischen Elektrizität und Magnetismus zeigte. Auch die Entdeckung der Röntgenstrahlung gab Anlass zu weiteren experimentellen Untersuchungen und theoretischen Überlegungen.

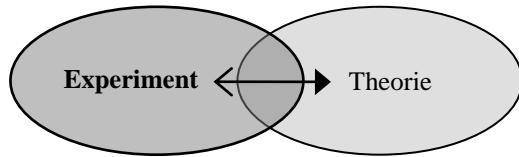


Abb.3: Beziehung zwischen Experiment und Theorie (Fall C)

Eine letzte Art der Beziehung zwischen Experiment und Theorie besteht darin, dass sich beide relativ unabhängig voneinander parallel entwickeln und der Zusammenhang möglicherweise noch nicht gesehen wird. Die Theorie erhält jedoch am Ende durch bereits vorhandene Experimente eine Stütze oder wird widerlegt (s. Abb. 4, Fall D). Beispielsweise erhält die Allgemeine Relativitätstheorie von Einstein eine wesentliche Stütze durch die bereits durch astronomische Beobachtungen bekannte Periheldrehung des Merkurs. Sie ließ sich bis dahin nicht vollständig durch das Newtonsche Gravitationsgesetz erklären.

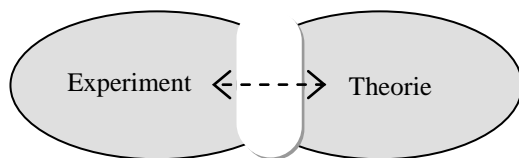


Abb.4: Beziehung zwischen Experiment und Theorie (Fall D)

Die Kritik an der Vorstellung dieser vier Fälle ist allerdings eine zu geradlinige Kennzeichnung des Wechselspiels von Experiment und Theorie, womit möglicherweise ein zu linearer Erkenntnisweg suggeriert wird. Auch Holton [17] hielt ein solches zweidimensionales Erkenntnismodell für unzureichend und sah als dritte entscheidende Dimension die sogenannten „Themata“, die persönlichen Hintergrundüberzeugungen des Forschers, an (s. Abb. 5). Dies sind beispielsweise Einfachheitspostulate oder die Suche nach Vereinheitlichung.

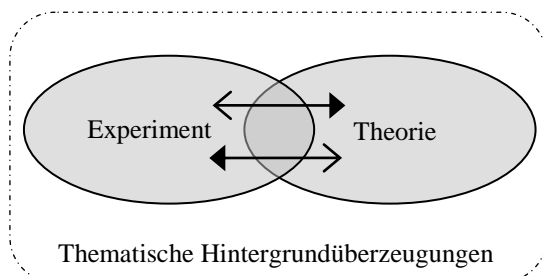


Abb.5: Beziehung zwischen Experiment und Theorie unter Einbezug Thematischer Hintergrundüberzeugungen

Die „Themata“ umfassen demnach „die historischen, psychologischen, religiösen und metaphysischen Hintergrundüberzeugungen, die einzelne Forscher oder Epochen als Evidenzwahrheiten und Ideen von der Beschaffenheit der Natur und der Wirklichkeit

vertreten“ [18]. Diese Sichtweise erscheint differenzierter als die Vorstellung Hilberts, da sie auch der unterschiedlichen Interpretation experimenteller Daten sowie der Rolle der Intuition stärker gerecht wird.

3. Forschungsfragen

Ziel der empirischen Untersuchung ist die Rekonstruktion der Vorstellungen von Studierenden (Fachstudenten und Lehramtsstudenten) über die Theoretische Physik, welche jedoch darüber hinaus mit Expertenansichten verglichen werden sollen. Daraus ergeben sich folgende Forschungsfragen:

- Welche Vorstellungen besitzen Studierende über die Theoretische Physik?
- Inwiefern unterscheiden sich Lehramts- und Fachstudierende hinsichtlich dieser Vorstellungen?
- Inwiefern unterscheiden sich die Vorstellungen der Studierenden von Expertenansichten?
- Inwiefern verändern sich die Vorstellungen der Studierenden im Laufe des Studiums?

4. Studiendesign und Stichprobe

Die Beantwortung der genannten Forschungsfragen soll durch eine explorativ-qualitative Studie möglich sein.

4.1. Vorstudien

Es wurden zunächst zwei Vorstudien durchgeführt; einerseits explorative Interviews mit Studierenden beider Studiengänge (Lehramt Physik, Fach Physik), andererseits Expertengespräche. Im Rahmen der Interviews mit angehenden Physiklehrkräften und zukünftigen Fachphysikern unterschiedlichen Semesters (N=21) sollte sichergestellt werden, dass die Befragten *ad hoc* Vorstellungen über die Theoretische Physik verbalisieren können und die Fragestellungen verständlich sind. Der thematische Schwerpunkt lag dabei auf dem Wechselspiel von Experimental- und Theoretischer Physik. Die darauffolgenden Expertengespräche mit Professoren und Privatdozenten beider Fachrichtungen (N=6) dienten vor allem als Unterstützung für die Konzeption des in der Hauptstudie einzusetzenden Fragebogens. Ziel war es, herauszufinden, ob die bereits theoretisch erarbeiteten Unterpunkte zur Charakterisierung des Wesens der Theoretischen Physik zutreffend und ausreichend sind. Die Bedeutung der Rolle der Mathematik und des Beitrags zur Kultur wurde besonders hervorgehoben; es kamen jedoch keine weiteren Aspekte hinzu.

4.2. Hauptstudie

Die Hauptstudie umfasst schriftliche Befragungen von sowohl Studierenden des Lehramts (Vollerhebung, N=121) und des Faches (N=36) als auch Experten (N=17). Letztere bilden eine Gruppe aus hauptsächlich Professoren oder Privatdozenten aus dem Fach Physik (beide Teilbereiche) sowie der

Fachdidaktik, bei welchen zum Teil der eigene Forschungsschwerpunkt im Bereich der Natur der Naturwissenschaften liegt. Der Fokus der schriftlichen Befragung lag auf sechs offenen Fragen, welchen eine strukturgebende Funktion für eine aufsatzähnliche Textproduktion zur Frage „Was ist eigentlich Theoretische Physik?“ zukam. Relevante Aspekte, die hierbei eine Rolle spielen, sind beispielsweise das Zusammenspiel von Experimental- und Theoretischer Physik, die Ziele oder auch Methoden der Theoretischen Physik sowie die Rolle der Mathematik (s. Abb. 1). Darüber hinaus wurden Daten zur Person (Studierende und Experten) erfasst als auch das Interesse an und die Bedeutung von Experimentalphysik und Theoretischer Physik sowie bisher erbrachte Ergebnisse von Prüfungsleistungen (nur Studierende).

Die Auswertung und schrittweise Analyse des Materials erfolgte mit Hilfe der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring [19]. Die deduktiv-induktive Erstellung eines Kategoriensystems ist dabei zentraler Bestandteil der Arbeit und ebenso Ausgangspunkt einer typenbildenden Inhaltsanalyse.

5. Erste Ergebnisse der Hauptstudie

Im Folgenden werden erste Ergebnisse der schriftlichen Expertenbefragung der Hauptstudie vorgestellt, wobei eine Konzentration auf den Themenbereich „Wechselspiel von Experimentalphysik und Theoretischer Physik“ erfolgt.

5.1. Kategoriensystem der Expertenbefragung

Zunächst wird das Kategoriensystem der Expertenantworten zum Wechselspiel von Experimentalphysik und Theoretischer Physik dargelegt. Es ergaben sich fünf Oberkategorien:

- Grundlage Theorie
- Grundlage Experiment
- Theorieentwicklung
- Realisierung Wechselspiel
- Beispiele

Die Kategorien „Grundlage Theorie“ und „Grundlage Experiment“ sind Beispiele für vorrangig deduktiv gebildete Kategorien, das heißt, sie wurden aus theoretischen Überlegungen abgeleitet. Grundlage hierfür waren die Darstellungen Hilberts [16] vom Verhältnis von Experiment und Theorie sowie Bestandteile des Fragebogens von Develaki [20] über wissenschaftstheoretische Vorstellungen von Schülern. Die Kategorien „Grundlage Theorie“ bzw. „Grundlage Experiment“ finden Anwendung bei Textpassagen, bei denen die befragte Person einen Ausschnitt des Wechselspiels beschreibt und als Ausgangspunkt entweder theoretische Überlegungen oder experimentelle Untersuchungen sieht. Beide Oberkategorien haben wiederum jeweils mehrere Unterkategorien (s. Abb. 6).

Wechselspiel EP und TP	
▪	<i>Grundlage Theorie</i>
	Vorhersagen
	Exp. als Prüfinstanz
	Überprüfen von Theorien
	Widerlegen von Theorien
	Falsifizieren von Theorien
	Bestätigen von Theorien
	Verifizieren von Theorien
▪	<i>Grundlage Experiment</i>
	Phänomene entdecken
	Erklärung Exp. durch Theorie
	Theorie stützt sich auf Exp.
▪	<i>Theorieentwicklung</i>
▪	<i>Realisierung Wechselspiel</i>
	ist vorhanden
	sollte vorhanden sein
	problembehaftet
	institut. Trennung
	unters. Sprache
	unters. Arbeitsweise
▪	<i>Beispiele</i>

Tab.1: Ausschnitt des Kategoriensystems der Experten

Ein Ankerbeispiel für die Kategorie „Grundlage Theorie – Vorhersagen“ ist beispielsweise: „*In der Theoretischen Physik werden Theorien [...] entwickelt und daraus Voraussagen für Experimente abgeleitet*“. Im Gegensatz dazu kann jedoch auch das Experiment an den Anfang des Erkenntnisweges gestellt werden: „*Experimente [...] zeigen interessante Eigenschaften von Systemen, die zunächst nicht verstanden werden. In der Theoretischen Physik wird eine Theorie für diese Phänomene entwickelt*“. Dies wäre ein Ankerbeispiel für die Kategorie „Grundlage Experiment – Erklärung Experiment durch Theorie“.

Die Oberkategorien „Theorieentwicklung“ und „Realisierung Wechselspiel“ sind induktiv entstanden, wobei Letztere drei Unterkategorien aufweist. Damit erfolgt die Unterscheidung, ob der Befragte das Wechselspiel als vorhanden und realisiert ansieht oder eher als Idealfall, da es wünschens- und erstrebenswert ist, dass dieses Wechselspiel vorhanden wäre. Dies kommt beispielsweise durch folgende Formulierungen zum Ausdruck: „*Theoretische Physik und Experimentalphysik sollten im Idealfall eine Einheit mit gegenseitigem Input bilden*“. Kennzeichnend ist hierbei die Verwendung des Konjunktivs II, da hiermit die Unwahrscheinlichkeit des Eintretens hervorgehoben und deutlich wird. Die dritte Unterkategorie „Realisierung Wechselspiel – problembehaftet“ hat selbst wieder drei untergeordnete Kategorien, da in diesem Fall der Experte

konkrete Probleme benannt hat und zwischen diesen beim Codieren unterschieden werden soll. Probleme, die das Wechselspiel behindern, können beispielsweise die institutionelle Trennung oder auch die unterschiedliche Herangehens- und Arbeitsweise von Experimentalphysikern und Theoretikern sein. Ein Befragter formuliert das Problem folgendermaßen: „Das Wechselspiel wird v.a. durch Grenzen zwischen den Subdisziplinen der EP und TP erschwert. Theoretische oder Experimentalphysiker besuchen eben nicht die gleichen Tagungen, publizieren kaum in den gleichen Journalen und sind an den Unis sogar oft in unterschiedlichen Gebäudeteilen untergebracht.“

Aufbauend auf dem deduktiv-induktiv gebildeten Kategoriensystem, stand die Suche nach Antwortmustern und die Gruppierung und Charakterisierung von ähnlichen Fällen im Vordergrund.

5.2. Antwortmuster

Die Vorgehensweise für die Suche nach einem Muster hinter den Antworten der Experten orientiert sich an den Teilschritten für den Prozess der Typenbildung nach Kelle und Kluge [21]. Somit wurden zunächst zwei Vergleichsdimensionen sowie die dazugehörigen Merkmalsausprägungen erarbeitet, welche sich in Form eines Koordinatensystems darstellen lassen (s. Abb. 7). Hierbei sollten Unterschiede und Gemeinsamkeiten möglichst gut erfasst werden können. Es wurden zwei Vergleichsdimensionen festgelegt:

- Wechselspiel zwischen Experimentalphysik (EP) und Theoretischer Physik (TP)
- Probleme

Die Dimension „Wechselspiel zwischen EP und TP“ unterscheidet die Art und Ausgewogenheit der Beschreibung des Wechselspiels. Hier ließen sich drei Merkmalsausprägungen finden. Zum einen kann der Befragte davon ausgehen, dass eine „Beschreibung des Wechselspiels nicht möglich“ ist, da die

Einflüsse und Ablaufmechanismen zu komplex sind oder auch eine strikte Trennung in diese beiden Fachbereiche nicht aufrecht erhalten werden kann. Die zweite Subkategorie umfasst die Fälle, bei denen das Wechselspiel derart beschrieben wird, dass eine persönliche Wertung und teilweise eine Geringschätzung gegenüber einem Teilbereich zutage tritt. Bei der dritten Merkmalsausprägung erfolgt die „Beschreibung (des Wechselspiels) ausgewogen“, vergleichbar mit der Darlegung der Beziehung von Experiment und Theorie durch Hilbert [vgl. 16].

Die Auswahl und Bildung der zweiten Vergleichsdimension „Probleme“ begründet sich durch die Reichhaltigkeit der Daten mit jenem Inhalt. Sie unterscheidet zwischen einer Sichtweise auf das Wechselspiel, welche entweder vor allem die Hürden der Zusammenarbeit in den Vordergrund stellt (erste Subkategorie bzw. Merkmalsausprägung) oder keine Probleme beinhaltet.

Nach Aufspannen dieses zweidimensionalen Merkmalsraums in Form eines Koordinatensystems erfolgt der zweite Schritt der Typenbildung: die Gruppierung der Fälle anhand der Vergleichsdimensionen und ihrer Ausprägungen. Die Verortung innerhalb des Merkmalsraums soll anhand eines Beispiels verdeutlicht werden. Experte A, ein Experimentalphysiker, schreibt bei der Frage nach dem Wechselspiel von EP und TP: „Unglücklicherweise sind die Herangehensweisen von Theoretikern und Experimentatoren an Probleme sehr unterschiedlich, was die gemeinsame Arbeit teilweise erschwert. [...] Beide Gruppen haben meist Schwierigkeiten damit, sich in die Arbeit des Anderen reinzuversetzen und dessen Standpunkt zu teilen [...]“. Diese Äußerungen gehen vor allem auf Probleme der Zusammenarbeit ein, was zur entsprechenden Zuordnung zu dieser Merkmalsausprägung führt.

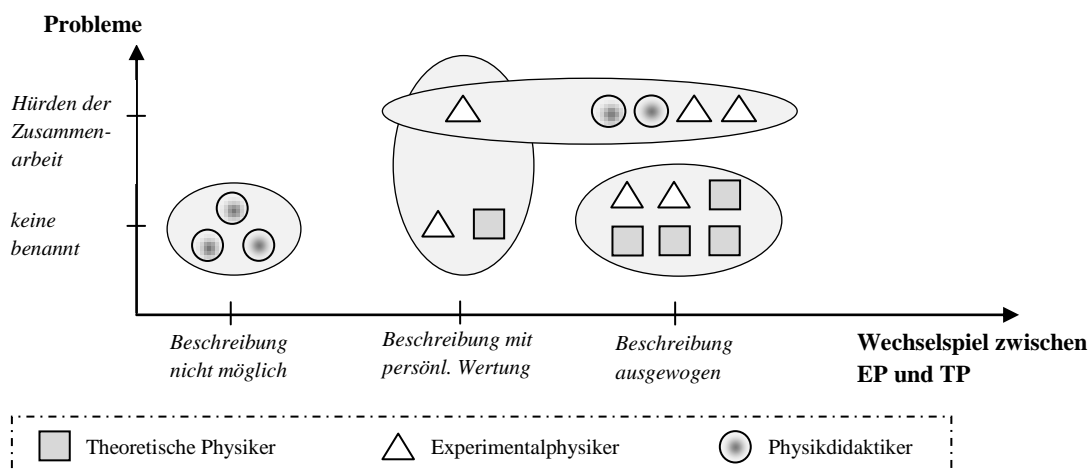


Abb.6: Verortung und Gruppierung der Experten im Merkmalsraum zum Wechselspiel von EP und TP

Darüber hinaus schreibt Experte A: „...diese [reale Vorgänge] sind meist viel komplizierter und komplexer, als es die Theorie gerne haben möchte“ sowie „Am glücklichsten sind sie [Theoretische Physiker], wenn sie das Geschehen in Formeln verpacken können, mit deren Hilfe sie die Welt berechnen können, ohne weiterhin auf die Experimentatoren angewiesen zu sein.“ Derartige Äußerungen führen zu einer Zuordnung zur „Beschreibung (des Wechselspiels) mit persönlicher Wertung“.

Mit Hilfe des vorher aufgestellten Kategoriensystems (s. Kap. 5.1.) sowie zusätzlich angefertigten Fallbeschreibungen konnten die Befragten im aufgespannten Merkmalsraum verortet werden, wobei sich das in Abbildung 7 dargestellte Bild ergab. Daraufhin wurde versucht, möglichst homogene Gruppen zusammenzufassen. Beispielsweise zeichnet sich die obere Gruppe vor allem dadurch aus, dass die Probleme, Hürden und Schwierigkeiten im Vordergrund stehen und das Wechselspiel eher als Idealfall angesehen wird, als tatsächlich realisiert.

Neben diesen homogenen Gruppen, welche sich bilden und charakterisieren lassen, erkennt man außerdem bestimmte Muster oder Regelmäßigkeiten, wenn man die Fachbereichszugehörigkeit näher betrachtet:

- *Theoretische Physiker* sehen demnach keine Probleme beim Verhältnis respektive dem Wechselspiel von Experimentalphysik und Theoretischer Physik, sie beschreiben das Wechselspiel in der Regel ausgewogen und fast „lehrbuchartig“.
- Bei *Experimentalphysikern* ist das Feld gespalten; teilweise stehen bei ihnen die Hürden und Probleme der Zusammenarbeit im Vordergrund; zum Teil beschreiben sie das Wechselspiel ausgewogen, sehen es aber mitunter nur als Idealfall an und äußern sich partiell auch mit einer persönlichen Wertung.
- *Physikdidaktiker* finden sich nie in der Gruppe wieder, die das Wechselspiel ausgewogen beschreibt und keine Probleme dabei sieht. Sie haben demnach eine sehr differenzierte Sichtweise auf das Wechselspiel, wobei sie entweder die Hürden der Zusammenarbeit in den Fokus stellen oder eine einfache Beschreibung des Wechselspiels als nicht möglich ansehen, da dieses zu komplex sei oder eine strikte Trennung in beide Fachbereiche für diese Darstellung nicht aufrecht erhalten werden könne.

6. Ausblick

Das Kategoriensystem für die Expertenbefragung ist vollständig entwickelt und bisher zunächst mehreren kommunikativen Validierungen mit Einbezug des Datenmaterials unterzogen worden. Dadurch erfolg-

te eine wiederholte Überarbeitung des Kategoriensystems. Die Codierung der Antworten durch einen Interrater steht jedoch noch aus.

In Anlehnung an die in diesem Artikel vorgestellte Suche nach Antwortmustern sollen im nächsten Schritt weitere Strukturen in den Expertenansichten gefunden werden. Beispielsweise scheint eine Vergleichsdimension zur Rolle der Näherungen und Modelle vielversprechend.

Im Anschluss daran erfolgt die qualitative Auswertung der Studierendenantworten, mit dem Ziel, die beiden Studiengänge, Fach- und Lehramtsstudierende zu vergleichen, und ebenso die Antworten auf eine möglich zeitliche Entwicklung hin zu untersuchen. Das Kategoriensystem soll dabei nicht sofort auf jenem der Experten aufbauen, sondern grundlegend neu entwickelt werden, um beide erst im Nachhinein gegenüberzustellen.

7. Literatur

- [1] Liu, Tingting; Sun Haibin (2010): Strategies of Theoretical Physics Instruction Reform. In: *Modern Applied Science* 4/6, 113-116
- [2] Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V. (Hrsg.) (2006): Thesen für ein modernes Lehramtsstudium im Fach Physik. Bad Honnef, Url: https://www.dpg-physik.de/static/info/lehramtsstudie_2006.pdf (Stand 4/2015)
- [3] Großmann, Siegfried; Röß, Dieter (2005): Thesen zum Lehramtsstudium Physik. Plädoyer für eine eigenständige Lehrerbildung. In: *Physik Journal* 4/10, 49-51, Url: <http://www.pro-physik.de/details/articlePdf/1106371/issue.html> (Stand 4/2015)
- [4] Müller, Andreas; Wilkens, Martin (unv.): Theoretische Physik im Lehrerinnenstudium – Ein Plädoyer: http://www.uni-landau.de/physik/MW07_Theoretische_Physik_im_LehrerInnenstudium_mAbst.pdf (Stand 4/2015)
- [5] Kircher, Ernst (2010): Über die Natur der Naturwissenschaften lernen. In: Kircher, E; Girwidz, R.; Häußler, P. (Hrsg.): *Physikdidaktik. Theorie und Praxis*. Berlin: Springer, 763-798
- [6] Strahl, Alexander (2014): Einführung in die philosophischen Grundlagen der Natur der Naturwissenschaften. In: *PdN Physik in der Schule* 8/63, 5-10
- [7] National Research Council (1996): *National Science Education Standards*. Washington: National Academy Press: http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=4962 (Stand 4/2015)
- [8] Lederman, Norman G., Abd-El-Khalick, Fouad, Bell, Randy L., Schwartz, Renee S. (2002): Views of nature of science questionnaire: toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. In: *Journal of Research in Science Teaching* 6/39, 497-

- 521, Url: http://www.gb.nrao.edu/~sheather/For_Sarah/lit%20on%20nature%20of%20science/views%20of%20nature%20of%20science%20questionnaire.pdf (Stand 4/2015)
- [9] Stathopoulou, Christina; Vosniadou, Stella (2007): Exploring the relationship between physics-related epistemological beliefs and physics understanding. In: *Contemporary Educational Psychology* 32, 255-281, Url: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0361476X05000688> (Stand 4/2015)
- [10] Lubben, Fred; Millar, Robin (1996): Childrens ideas about the reliability of experimental data. In: *International Journal of Science Education* 8/18, 955-968, Url: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/0950069960180807>
- [11] Lavonen, Jari, Jauhainen, Jyrki, Koponen, Ismo, Kurki-Suonio, Kaarle (2004): Effect of a long-term in-service training program on teachers' beliefs about the role of experiments in physics education. In: *International Journal of Science Education* 26 (3), 309-328, Url: http://www.researchgate.net/publication/233623761_Effect_of_a_long-term_in-service_training_program_on_teachers%27_beliefs_about_the_role_of_experiments_in_physics_education (Stand 4/2015)
- [12] Krey, Olaf (2012): Zur Rolle der Mathematik in der Physik. Wissenschaftstheoretische Aspekte und Vorstellungen Physiklernender. Berlin: Logos
- [13] Höttecke, Dietmar; Rieß, Falk (2007): Rekonstruktion der Vorstellungen von Physikstudierenden über die Natur der Naturwissenschaften – eine explorative Studie. In: *PhyDid-A* 1/6, 1-14, Url: <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid/article/viewFile/51/51> (Stand 4/2015)
- [14] Meyling, Heinz (1990): Wissenschaftstheorie im Physikunterricht der Oberstufe. Das wissenschaftstheoretische Schülerverständnis und der Versuch seiner Veränderung durch expliziten wissenschaftstheoretischen Unterricht. Dissertation Universität Bremen
- [15] Waloschek, Pedro (1998): Wörterbuch Physik. München: Deutscher Taschenbuch-Verlag.
- [16] Hilbert, David (1992): Natur und mathematisches Erkennen: Vorlesungen, gehalten 1919-1920 in Göttingen. Ausarbeitung von Paul Bernays. Hrsg. Von David. E. Rowe. Basel [u.a.]: Birkhäuser
- [17] Holton, Gerald (1984): Themata zur Ideengeschichte der Physik. Braunschweig [u.a.]: Vieweg
- [18] Kuhn, Wilfried (1990): Ziel und Struktur physikalischer Theorien. In: *Praxis der Naturwissenschaften-Physik* 2/39, 2-9
- [19] Mayring, Philipp (2010): Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken. Weinheim, Basel: Beltz
- [20] Develaki, Maria (1998): Die Relevanz der Wissenschaftstheorie für das Physikverstehen und Physiklehren. Ein Beitrag zur Untersuchung der wissenschaftstheoretischen Ansichten von Physiklehrern und Physikstudenten. Dissertation Freie Universität Berlin
- [21] Kelle, Udo; Kluge, Susann (2010): Vom Einzelfall zum Typus. Fallvergleich und Fallkontrastierung in der qualitativen Sozialforschung. Wiesbaden: VS Verlag