

## Beliefs zur Theoretischen Physik, der unbekannteren Seite der Schulphysik

Anja Schulz\*, Marion Zöggeler<sup>+</sup>, Alexander Strahl<sup>#</sup>

\*Pädagogische Hochschule Salzburg, NCoC - ÖZBF, anja.schulz@phsalzburg.at

<sup>+</sup>Universität Salzburg, School of Education, AG Didaktik der Mathematik, marion.zoeggeler@sbg.ac.at

<sup>#</sup>Universität Salzburg, School of Education, AG Didaktik der Physik, alexander.strahl@sbg.ac.at

### Kurzfassung

Sowohl die Physikdidaktik als auch der österreichische Lehrplan fordern die Einbindung von Arbeitsmethoden, die zur Gewinnung und Sicherung neuer Erkenntnisse beitragen, sowie Ziele im Physikunterricht vorgeben. Um diese Lehr- und Lernziele zu erreichen, ist eine Auseinandersetzung mit der Bedeutung der Begriffe Theorie, Gesetz, Modell und Hypothese unabdingbar. Nur so können die Lernenden ein annehmbares Verständnis über die Theoriebildung in der Physik entwickeln. Dabei nimmt die Theoretische Physik eine besondere Stellung ein, bei der auch die verschiedenartige Rolle der Mathematik deutlich wird. Um die Vorstellungen der Schüler:innen über das Wesen der Physik zu erkunden, wurde zunächst ein Fragebogen in quantitativer Form erstellt, der die derzeitigen Überzeugungen (Beliefs) über die Physik der Schüler:innen, im Alter zwischen 17 und 20 Jahren, testen sollte. Aufbauend auf die gewonnenen Kenntnisse über die Lernausgangslage der Lernenden kann ein passender Unterricht konzipiert werden, der an das Vorwissen der Jugendlichen anknüpft. Im Rahmen des Beitrages werden die wesentlichen Ergebnisse der explorativen Datenerhebung, bei der 191 Proband:innen getestet wurden, dargestellt und diskutiert.

### 1. Einleitung

In seinen Vorlesungen an der Universität Göttingen wies David Hilbert, einer der bedeutendsten Mathematiker der Neuzeit, auf die allgemeine Auffassung hin, physikalische Naturgesetze seien unabänderlich. Um ein allgemeingültiges Gesetz zu finden, stellt man als Ausgangspunkt zur Forschungstätigkeit eine Hypothese auf. Mit Experimenten wird dann über die Annahme oder Ablehnung entschieden. Ist das Gesetz gefunden, lassen sich die Naturvorgänge erklären. Der Aufgabenbereich der Physik liegt also im Aufdecken von Gesetzen, wodurch Wahrnehmungen der Realität für uns erklärbar werden. Welche Tätigkeit die Theoretische Physik in dieser Auffassung übernimmt, bleibt unklar. Ist allein das gesetzartige Beschreiben von Phänomenen in der Natur wirklich schon Physik? Oder wird erst dadurch die Ausgangsposition gebildet, mit der die eigentliche Problematik der Physik beginnt? (Hilbert, 1992)

Die Antwort auf diese Fragen ist gewiss nicht einfach und ohne ein angemessenes Verständnis der Physik und deren Funktion nur schwer möglich. Aus diesem Grund muss ein wesentliches Ziel des Physikunterrichts an unseren Schulen die Vermittlung eines adäquaten Verständnisses des Wesens der Physik sein. Diese Forderung an den Unterricht wurde schon Mitte des 20. Jahrhunderts von Pädagogen (u. a. Litt, 1959) und von Naturwissenschaftsdidaktikern (u. a. Kuhn, 1976) gestellt. Dies bedeutet, im Unterricht naturwissenschaftlicher Fächer erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Fragen einzubeziehen (Kircher et al., 2015). Gegenwärtig befassen sich Studien mit

der Frage, wie die Theoretische Physik – neben der Empirie – im Unterricht aufgewertet werden kann und wie das ihr eigene wahre Bild den Schüler:innen vermittelt werden kann (Uhden, 2012; Heine, 2018).

Um Schüler:innen und Studierenden, die größtenteils ein empiristisch geprägtes Bild der Physik haben (Höttecke, 2001; Höttecke & Rieß, 2007), einen geeigneten Zugang zur Theoretischen Physik zu ermöglichen, ist es sinnvoll, ihre Vorstellungen zu untersuchen. In diesem Sinne wurde eine Erhebung über die Beliefs von Schüler:innen zur Theoretischen Physik (Schulz, 2017) durchgeführt. Der Begriff „Beliefs“ bezeichnet Vorstellungen, Einstellungen und Haltungen, die sich mental, affektiv und motivational (Krey, 2012; Heine, 2018) auf Gegenstände und Strukturen auswirken und die Grundlage für weiteres Verständnis bilden. In diesem Beitrag werden Beliefs als Vorstellungen über das Wesen der Physik im Allgemeinen und über die Theoretische Physik im Besonderen und nicht als Vorstellungen über inhaltliche Sachverhalte verstanden.

### 2. Gegenwärtige Forschungsschwerpunkte

#### 2.1. Die Theoretische Physik als Bereich der Physik

„Ich hoffe, daß niemand mehr der Meinung ist, daß Theorien durch zwingend logische Schlüsse aus Protokollbüchern abgeleitet werden, eine Ansicht, die in meinen Studententagen noch sehr in Mode war.“ (Pauli, 1984, S. 95)

Das Verständnis von Physik bei Schüler:innen und Studierenden ist im Allgemeinen von einer empiristischen Sichtweise geprägt, bei der das Experiment die zentrale Rolle einnimmt und die Theorie davon abgeleitet wird. Dies spiegelt sich auch in der gegenwärtigen fachdidaktischen Forschung wider. In Studien über die Stellung der Theoretischen Physik und die Vorstellung von Schüler:innen und Studierenden zeigt sich die – gegenüber der Theorie – hervorgehobene Bedeutung des Experiments (Höttecke & Rieß, 2007; Krey, 2012, Heine & Pospiech, 2015a, b).

Tatsächlich sehen Lernende und oft auch Lehrende das Wesen der Physik als das Überprüfen von Hypothesen durch Experimente, das Auswerten von Messergebnissen, das Berechnen physikalischer Größen und das Umstellen von Formeln. Sie sind überzeugt, dass all dem unveränderliche Naturgesetze zu Grunde liegen. Das Wesen der Physik als experimentelle und theoriegeleitete Wissenschaft umfasst des Weiteren das qualitative Verstehen physikalischer Vorgänge in ihrem Zusammenhang, das begriffliche Verstehen und die korrekte Verwendung von Fachbegriffen, sowie die Einsicht in Strukturen, Konzepte, Gesetzmäßigkeiten und Denkprinzipien. (Krause, 2013; Heine, 2018)

In Studien über die Vorstellung vom Wesen der Physik bei Expert:innen, Theoretischen Physiker:innen und Experimentalphysiker:innen, und bei Studierenden werden unterschiedliche Beliefs festgestellt. Während Theoretische Physiker:innen das Wechselspiel von Experiment und Theorie hervorheben, haben Experimentalphysiker:innen eine gesplante Vorstellung vom Zusammenwirken dieser beiden Bereiche. Die Vorstellungen von Studierenden beziehen sich vor allem auf die Bedeutung des Experiments, das neue Gebiete in der Physik erschließen hilft und den Ausgangspunkt für die Theorie darstellt, die die Erklärung dafür geben soll. Nur selten kann in den Vorstellungen der Studierenden festgestellt werden, dass Experimentalphysik und Theoretische Physik sich auch unabhängig voneinander bzw. ergänzend entwickeln und dass die Theorie mitunter auch Vorhersagen macht, die anschließend experimentell überprüft, bestätigt oder widerlegt werden können. (Höttecke & Rieß, 2007; Heine & Pospiech, 2015a, b)

Im Allgemeinen wird die Theoretische Physik als ein abstraktes Konstrukt mit mathematischem Formalismus gesehen, das der Welt der Lernenden fremd ist, bestenfalls mit Modellen verdeutlicht werden kann und im Auswendiglernen von bald vergessenen Formeln und Merksätzen besteht.

Die Theoretische Physik hat jedoch als Zielvorgabe im Unterricht und in der Ausbildung von Lehrenden neben dem Vermitteln von Wissen und Konzepten einen bedeutenden Bildungsauftrag im Hinblick auf die Förderung von Denkweisen und die Bildung der Problemlösefähigkeit. Dies stellt einen wesentlichen Aspekt der gesamten Physik dar. Das wechselseitige Verhältnis von Experiment und Theorie erschließt

den Erkenntnisweg in der Physik, wobei der Mathematik eine besondere Rolle zuteilwird. Daraus ergibt sich ein inhaltlicher Zusammenhang der beiden Fachbereiche Physik und Mathematik. In dieser Verknüpfung und im Verständnis physikalischer Konzepte liegt der Bildungswert der Theoretischen Physik. Als weiteres Wesensmerkmal kommt dazu, dass sie als Vermittlerin wissenschaftstheoretischer Vorstellungen in Verbindung mit mathematischen Strukturen und mit Empirie die Physik von den anderen naturwissenschaftlichen Fächern abhebt. (Heine, 2018)

## 2.2. Die Bedeutung der Mathematik in der Physik

„Durch rein mathematische Konstruktion vermögen wir nach meiner Überzeugung diejenigen Begriffe und diejenige gesetzliche Verknüpfung zwischen ihnen zu finden, die den Schlüssel für das Verstehen der Naturerscheinungen liefern. [...] Erfahrung bleibt natürlich das einzige Kriterium der Brauchbarkeit einer mathematischen Konstruktion für die Physik. Das eigentlich schöpferische Prinzip liegt aber in der Mathematik.“ (Einstein, 1934, zit. nach Uhden, 2012, S. 7)

In der Aussage Einsteins und in ähnlichen Aussagen namhafter Physiker wird die Bedeutung der Mathematik für die Physik hervorgehoben. Mathematik ist nicht nur das Hilfsmittel zum Quantifizieren und Rechnen, sondern trägt als wesentliches Element zur Strukturbildung und zum konzeptionellen Verständnis physikalischer Inhalte bei (Uhden, 2012). Der Gebrauch mathematischer Methoden, vor allem mathematischer Modelle zur Beschreibung physikalischer Zusammenhänge, prägt – im Sinne Einsteins – das physikalisch-mathematische Arbeiten und umfasst auch einen kreativen Aspekt, wenn beispielsweise damit Erklärungen folgerichtig schrittweise analysiert und Neues entdeckt bzw. vorhergesagt werden kann. (Uhden, 2012)

Die Mathematik in der Physik ist eng mit physikalischen Gesetzen verknüpft und das Verstehen von mathematischen Konzepten ist für ein tieferes Verständnis physikalischer Sachverhalte teilweise unabdingbar (Uhden, 2016), z. B. bei den Konzepten von Geschwindigkeit und Beschleunigung, denen das mathematische Konzept der Änderungsrate zugrunde liegt (Hewitt, 2006; Taşar, 2010). Dem Einwand, dass mechanische Rechentätigkeiten das physikalische Verständnis erschweren, muss entgegengehalten werden, dass im Unterricht die Art und Weise, wie Mathematik in die Physik eingebunden wird, ausschlaggebend ist.

Nach Richard Skemp (1976) muss zwischen einem instrumentellen und einem relationalen Verständnis der Mathematik unterschieden werden. Ersteres umfasst die Verwendung der Mathematik in Form von regelgeleiteten Rechentechniken, die jedoch das Erkennen von zugrundeliegenden Strukturen nicht zulassen. Letzteres dringt tiefer in mathematische Konzepte ein und erfasst innere Zusammenhänge. Dies

bedeutet für die Physik, dass es notwendig ist, ein relationales Verständnis der Mathematik zu entwickeln, um ein tieferes Verstehen für physikalische Zusammenhänge zu erzielen. (Uhden, 2016).

Damit Schüler:innen die Verknüpfung von Physik und Mathematik verstehen und einen angemessenen Zugang zur Theoretischen Physik finden, muss an ihren Vorstellungen über den Sinn der Mathematik in der Physik angesetzt werden. Nach Olaf Uhden (2016) vollzieht sich das mathematische Denken in der Physik auf zwei Ebenen: einerseits in der Verwendung als mathematisches Werkzeug zur Auswertung von experimentellen Ergebnissen und zum Umwandeln von Formeln, andererseits als tieferes Verständnis physikalischer Zusammenhänge. Dabei zeigt sich die Aufgabe der Mathematik nicht nur als routinemäßige Rechenfertigkeit, sondern ebenso als strukturbildendes Element zum Verständnis physikalischer Konzepte. Umgekehrt sind gerade durch die Verwendung der Mathematik in der Physik neue mathematische Methoden entwickelt worden. Auf der Grundlage des mathematischen Modellierungskreislaufes (Blum & Leiß, 2005; Borromeo Ferri, 2006; Fuchs & Blum, 2008; Siller, 2009) wurde für die Physik ein angepasster Modellierungskreislauf erstellt, der sowohl den technischen als auch den strukturellen Charakter der Mathematik beinhaltet (Uhden et al., 2012).

In der Welt wahrgenommene Phänomene werden durch Vereinfachung und Idealisierung in ein physikalisch-mathematisches Modell übertragen, das innerhalb seiner Struktur eine Mathematisierung auf verschiedenen Stufen ermöglicht und in umgekehrter Richtung eine geeignete Interpretation verlangt. Dabei ist eine strukturelle Verwendung bzw. ein relationales Verständnis der Mathematik notwendig. Diese strukturelle Verwendung zeigt sich im Mathematisieren und im Interpretieren innerhalb der physikalischen inhaltlichen Struktur des Modells. Die Mathematik wird zum Beschreiben und Untersuchen eines Sachverhaltes benützt und führt zu weiteren Erkenntnissen, zu Deutungen, Klärungen bzw. Vorhersagen und zu konzeptionellen Strukturbildungen. Dies fördert die Entwicklung von Denkprozessen und Problemlösefähigkeiten. Der technische Beitrag der Mathematik betrifft die reine Rechenfertigkeit, das Mittel, das von außen als instrumentelle Verwendung mathematischer Methoden, z. B. zur Lösung von Gleichungen oder zur Berechnung von Zahlenwerten, in den Modellierungskreislauf eingreift (Uhden, 2012). Erst ein angemessenes Verständnis des Zusammenhangs von mathematischer Denkweise und physikalischen Sachverhalten kann zu einer sinnvollen Verwendung mathematischer Funktionen und Formeln in der Physik führen.

### 2.3. Erkenntnisweg zu physikalischen Theorien

Die Methodologie des Erkenntnisprozesses beschreibt den Weg von der Hypothese über das Experiment zur Theorie und zum physikalischen Gesetz,

welches die ursprüngliche Realität wiedergeben soll. Physikalische Gesetze sind nichts Feststehendes, Unveränderliches, wie von Schüler:innen meist angenommen wird (Larochelle & Désautels, 1991; Solomon, 1996). In ihrer Vorstellung bezeichnet eine Hypothese etwas Unwahrscheinliches, ein Gesetz etwas Gesichertes, die Theorie einen nicht ausreichend bzw. vollständig erforschten Sachverhalt; demnach stellt die Theorie die „Vorstufe“ zum Gesetz dar (Höttecke & Rieß, 2007).

Die Ergebnisse von Untersuchungen bei Kindern und Jugendlichen (Driver et al., 1996) lassen erkennen, dass dem Experiment die grundlegende Funktion in der Physik zugeschrieben wird, Effekte zu erzielen, Kausalitäten herzustellen, Neues zu gewinnen und die Theorie zu überprüfen (vgl. Schulz, 2017). Die Erkenntnisgewinnung erfolgt meistens als Schlussfolgerung aus empirischen Beobachtungen mehrerer einzelner Experimente, woraus allgemeingültige Sätze abgeleitet werden (vgl. Höttecke & Hopf, 2018). Damit ist bei der Erkenntnisgewinnung aus einem Experiment eine induktive Vorgehensweise im Vordergrund, die auch zu falschen Ableitungen führen könnte.

Karl Popper (1976) steht dieser Art der Schlussfolgerung kritisch gegenüber und fragt sich, inwiefern induktive Schlüsse gerechtfertigt sind. Wolfgang Pauli (1984) hat das Ableiten einer physikalischen Theorie aus einzelnen Experimenten als überholt angesehen. Dennoch wird die induktive Methode als häufige Vorgehensweise in der Physik angewandt und spiegelt sich in einigen Schulbüchern und im Lehrplan wider (Bundesministerium Bildung, Wissenschaft und Forschung, 2018). Das Experiment als Ausgangsbasis für den Erkenntnisprozess wird mitunter überschätzt und als isoliert betrachtet, losgelöst von der Kenntnisvermittlung der Theoretischen Physik (Höttecke & Rieß, 2007).

Unter dem wahrscheinlichkeitstheoretischen Aspekt der Häufigkeit finden induktive Ableitungen allerdings eine Berechtigung (vgl. u. a. Hume 1748).

Der Induktion steht in der Physik die Deduktion gegenüber, die auf Schlussfolgerungen von speziellen Aussagen aus einer allgemeinen Theorie beruht und vorwiegend in der Theoretischen Physik ihre Anwendung findet. Die Ergänzung von induktiver und deduktiver Methode im physikalischen Erkenntnisweg zeigt sich im Wechselspiel von neuen Forschungsergebnissen, die einmal vordergründig aus der experimentellen Forschung stammen und zu Grundsätzen führen und ein andermal von der Theoretischen Physik abgeleitet im Experiment bestätigt werden. Dazu spielen die Ideen des zufälligen Auffindens und der Kreativität eine wichtige Rolle. (vgl. Strahl, 2018)

Somit erfolgt die Erkenntnisgewinnung in der Physik im Zusammenspiel von Experiment und Theorie.

### 2.4. Modellbildung in der Physik

In der Physik, insbesondere in der Theoretischen Physik, ergibt sich die Notwendigkeit, auf Modelle zur

Erklärung von Phänomenen und zur Aufstellung von Theorien zurückzugreifen. Die Modellbildung ist eine grundlegende Art, Anschaulichkeit und Vereinfachung in einen abstrakten Sachverhalt zu bringen. Neben dem allgemeinen gegenständlichen Modell, das zur Veranschaulichung eines realen Objektes dient, sind für die Physik vor allem das ikonische und das symbolische Modell von Bedeutung. Das ikonische Modell dient der Vorstellung und Veranschaulichung einer realen Gegebenheit bzw. eines abstrakten Sachverhaltes durch Vereinfachung, indem bestimmte Komponenten je nach Zweckbestimmung vernachlässigt bzw. hervorgehoben werden. Symbolische Modelle sind abstrakt-mathematische Modelle, die der Beschreibung eines physikalischen Zusammenhangs durch Formeln, Gleichungen bzw. Funktionen dienen. (u. a. Strahl, 2018)

Studien (z. B. Höttecke & Rieß, 2007) belegen, dass Studierende Modelle vielfach als korrekte Abbildung der Wirklichkeit annehmen. Bei der Modellbildung muss aber deutlich zwischen Modell- und Wirklichkeitsebene unterschieden werden.

Das Modell bedarf einer angemessenen Beschreibung und hat bis zu einer gewissen Gültigkeit, welche je nach Erfordernis bis zu einem bestimmten Grad verschoben werden kann. Die Bedeutung des Modells liegt in der Verbindung von Experiment und Theorie, zum einen als Beschreibung und Aufbereitung experimenteller Daten zur Auffindung physikalischer Theorien, zum anderen als Veranschaulichung einer formalen Theorie zum besseren Verständnis.

### 3. Untersuchung von Beliefs von Lernenden zur Theoretischen Physik

Grundlage für die weitere fachdidaktische Forschung ist die Kenntnis von Schülervorstellungen zu den in der Einleitung angeführten Grundsatzfragen. Auf ihre Antworten aufbauend, können die erforderlichen methodischen Schritte im Unterricht vollzogen werden. In diesem Sinne wird in der vorgestellten Studie, die im Rahmen einer Diplomarbeit (Schulz, 2017) durchgeführt worden ist, auf die Beliefs von Schüler:innen zum Wesen der Physik und der Theoretischen Physik, zum Erkenntnisweg, zur Bedeutung der Mathematik in der Theoretischen Physik und zum Wechselspiel von Experiment und Theorie eingegangen und das Ergebnis aufgezeigt.

Folgende Überlegungsfragen durchziehen die gesamte Studie:

- Lassen sich bei Schüler:innen im Allgemeinen einheitliche philosophische Denkrichtungen über die Physik feststellen und wenn ja, um welche handelt es sich im Konkreten?
- Inwieweit kann ein Interesse an der Theoretischen Physik bei Lernenden festgestellt werden und gibt es diesbezüglich Unterschiede zwischen weiblichen und männlichen Probanden?

- Lassen sich anhand der Schwerpunkte A, B, C, D, E im Fragebogen Beliefs der Lernenden zur Physik rekonstruieren?

Da keine geeigneten Untersuchungsinstrumente zu Beliefs von Schüler:innen der Allgemeinbildenden höheren Schule (AHS) zur Theoriebildung in der Physik gefunden werden konnten, wurde ein Fragebogen zu wissenschaftstheoretischen Betrachtungen der Physik erstellt. Ziel der Untersuchung war es, einerseits Denkstrukturen von Schüler:innen zu analysieren und andererseits Lehrpersonen eine Vorstellung davon zu vermitteln, wie Lernende Physik verstehen und beschreiben.

#### 3.1. Entwicklung eines geeigneten Messinstrumentes

Eine kurze Beschreibung des Fragebogens soll Aufschluss über dessen Art und Zusammensetzung geben. Die Untersuchung bezieht sich auf folgende fünf thematische Schwerpunkte A, B, C, D, E, denen 40 Items zugeordnet sind.

- A: Fragestellungen zu physikalischen Begriffen (20 Items)
- B: Fragestellung zur Aufgabe der Theoretischen Physik (5 Items)
- C: Fragestellung zum physikalischen Erkenntnisweg (5 Items)
- D: Fragestellung zur Aufgabe der Mathematik in der Theoretischen Physik (5 Items)
- E: Fragestellung zur Beziehung zwischen Experiment und Theorie in der Physik (5 Items)

Die einzelnen Items, in Form von Aussagen als Antwort auf die Fragestellung, werden nach einer fünfstufigen Skala, von „trifft völlig zu“ bis „trifft gar nicht zu“, und „weiß nicht“ bewertet.

Im Folgenden werden die Fragestellungen und beispielhaft einige Items vorgestellt. Der Themenbereich A beinhaltet u. a. die Frage: „Was ist Physik?“ Die weiteren Fragen dieses Fragenblocks sind: „Was ist eine physikalische Theorie?“, „Was sind physikalische Gesetze?“, „Welche Aspekte zeichnen eine Hypothese aus?“. Darin wird auf die Beliefs der Schüler:innen eingegangen, welche Bedeutung physikalische Begrifflichkeiten für sie haben.

Der Themenschwerpunkt B stellt die Frage nach dem Ziel der Theoretischen Physik in ihrer Verwendung: „Wozu braucht man Theoretische Physik?“

Im Themenbereich C wird die Frage nach den Wegen und Methoden gestellt, wie in Physik neue Erkenntnisse gewonnen werden. Dabei soll festgestellt werden, welche Arbeitsmethoden die Schüler:innen in der Physik kennen.

Die Frage des Schwerpunktes D lautet: „Welche Rolle spielt die Mathematik in der Theoretischen Physik?“. Ziel ist es, zu erkunden, welche Einstellungen die Lernenden zur Mathematik in der Physik besitzen und welche Beliefs über die Bedeutung der Mathematik in der Physik bestehen.

Der letzte Themenbereich E betrifft die Frage „Wie gestaltet sich die Beziehung zwischen Experimentalphysik und Theoretischer Physik?“ Dabei stehen die Arbeitsmethoden der Physik im Fokus.

### 3.2. Durchführung der Erhebung

Neben der Umfrage zur obengenannten Thematik wurden zunächst anonym personenbezogene Daten erhoben, wie Alter, Geschlecht, zuletzt erhaltene Bewertung in den Fächern Physik und Mathematik und Selbsteinschätzung der Schüler:innen in Physik. Zwei weitere Items betreffen das Interesse der Schüler:innen zur Experimentalphysik und zur Theoretischen Physik. Ziel der Interessensfrage ist es, einerseits herauszufinden, ob sich die Lernenden mit den Spezialgebieten auseinandergesetzt haben und wie sie ihr persönliches Interesse einschätzen. Andererseits sollen mögliche Zusammenhänge mit den Ergebnissen der fünf Themenschwerpunkte des Fragebogens erkannt werden.

Die Studie startete im Frühjahr 2017 an drei Schulen in der Stadt Salzburg. Befragt wurden Schülerinnen und Schüler der 11. und 12. Schulstufe. Insgesamt wurden 254 Fragebögen den Schulen ausgehändigt, von denen 198 beantwortet zurückgehalten wurden. Sieben Fragebögen wurden für ungültig erklärt. Die Befragung wurde von den jeweiligen Physiklehrpersonen der entsprechenden Klasse bzw. der Verfasserin der Studie (Schulz, 2017) betreut.

## 4. Auswertung der empirischen Erhebung

Unter Berücksichtigung individuell aufgestellter Ausschlusskriterien (Schulz, 2017) wurden insgesamt 191 gültige Fragebögen in die Statistik- und Analysesoftware SPSS zur Datenanalyse eingetragen. Die Fragebögen konnten 112 Schülerinnen und 79 Schülern zugeordnet werden, dies entspricht 58,6 % bzw. 41,4 %. Bei der Auswahl der Probanden handelte es sich um eine Gelegenheitsstichprobe.

### 4.1. Analyseverfahren

Bei der Studie handelt es sich um eine quantitative Datenanalyse, durchgeführt unter einer linearen Forschungsstrategie (Witt, 2001).

Um zu beurteilen, ob oder inwieweit das Erhebungsinstrument, der selbst entwickelte Fragebogen, gültige Daten liefert, wurden im Sinne der empirischen Sozialforschung Qualitäts- bzw. Gütekriterien überprüft. Zur Analyse der Datensätze sowie zur Beantwortung der Fragestellungen wurde die Häufigkeitsanalyse herangezogen. (Mayring, 2015)

### 4.2. Testergebnisse

Im Folgenden werden aus den Antworten der Schüler:innen einige relevante Ergebnisse vorgestellt.

Zur Frage „Was ist Physik?“ stimmten von 184 Probanden 144 der Aussage, die Aufgabe der Physik bestünde darin, nach Ursachen von Wirkungen zu suchen, völlig zu. Zehn lehnten die Aussage eher ab. Sieben Probanden konnten mit der Aussage nichts anfangen.

Die Aussage „Physikalische Gesetze kommen in der Natur vor“ (Themenbereich A), verzeichnet ein nicht unerwartetes Ergebnis. Schüler:innen sind der herkömmlichen Meinung, physikalische Gesetze lassen sich in der Natur finden. Dieser weitverbreitete Glaube an die Zuverlässigkeit der direkten Wahrnehmung ist bedenklich. Ein Ziel der Physik sollte daher darin bestehen, Abbilder der wahrnehmungs- und bewusstseinsunabhängigen Wirklichkeit zu schaffen, damit die Natur verstanden werden kann. Für die Gestaltung eines guten Physikunterrichtes kann daraus die Forderung abgeleitet werden, obengenannte Aussage über physikalische Gesetze zu relativieren, da sie der Wirklichkeit nicht entspricht.

Das Item „In der Physik werden Naturgesetze entdeckt und erklärt“ (A) beschreibt, was Physik auszeichnet und erhält eine hohe Zustimmung.

Über die Theoretische Physik und ihre Stellung kommen in den Antworten der Schüler:innen vor allem folgende Beliefs zum Ausdruck: Die Theoretische Physik wird gebraucht, um Beobachtungen und Experimente zu erklären und um zu neuen Erkenntnissen zu kommen (B). Die Schüler:innen sehen die Theoretische Physik als einen wichtigen Bestandteil für die Erkenntnisgewinnung an. Womit Theoretische Physik zu tun hat, wie und unter welchen Voraussetzungen sie arbeitet und was unter Erkenntnisgewinnung in physikalischer Hinsicht verstanden wird, kann anhand des Resultats der Fragebogenerhebung nicht entschlüsselt werden. Zu behaupten, Schüler:innen wüssten über die Theoriebildung in der Physik Bescheid, wäre in diesem Sinne unzulässig.

Allgemeine Zustimmung findet die Aussage „Zuerst werden Theorien hypothetisch aufgestellt und dann mit Experimenten schrittweise nachvollzogen“ (C). Dies stellt einen inhaltlichen Bezug zum Item „Physikalische Theorien sind nicht wahrheitsfähig, weil sie keinen direkten Bezug zum Experiment haben“ (A) dar, welches die höchste Ablehnung erfahren hat. Über die Stellung der Mathematik in der Theoretischen Physik gibt die Zustimmung zur Aussage „Mathematik braucht man, um die Ergebnisse des Experiments zu überprüfen“ (D) Aufschluss über dieses weitverbreitete Belief. Demnach bestünde die Arbeit der Theoretischen Physik darin, mithilfe von mathematischen Theorien die experimentell gewonnenen Daten zu überprüfen. Überdies wird der Mathematik eine gewisse Objektivität zugesprochen, die ihr eine überprüfende Funktion zukommen lässt (vgl. Krey, 2012). Diese Auffassung kennzeichnet eine operationalistische Denkstruktur der Schüler:innen. Sie deckt sich in gewisser Weise mit dem Ergebnis der durchgeführten Erhebung in Bezug zur Aufgabe der Mathematik in der Theoretischen Physik.

Das Ergebnis der Aussage „Physikalische Theorien gelten in ihrem Geltungsbereich“ (A) überrascht, da es die Interpretation nahelegt, dass dem Großteil der Schüler:innen durchaus bewusst ist, dass jede Theorie

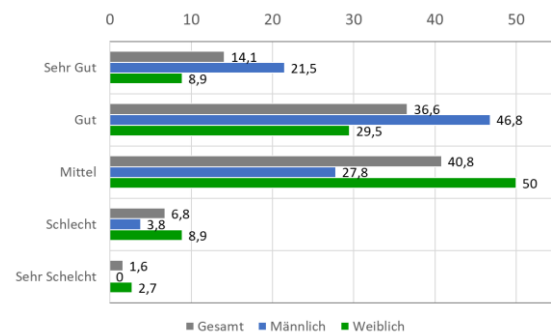
in Physik einen begrenzten Bereich in der wissenschaftlichen Anwendung besitzt.

Da manche Items eine besonders hohe Zustimmung bzw. Ablehnung fanden, entwickelte sich die Idee, ein Ranking über gewisse Aussagen zu machen. Dazu wurde von jeder Variablen der Mittelwert errechnet und daraus eine Rangliste erstellt. Die Items mit höchster Zustimmung sind: an 1. Stelle „Eine physikalische Hypothese wird mit dem Ziel gebildet, neue Erkenntnis zu gewinnen“ (A), an 2. Stelle „Theoretische Physik braucht man, um Beobachtungen und Experimente zu erklären“ (B); an 3. Stelle steht die Aussage „Physik sucht nach Ursachen von Wirkungen“ (A) zur Frage „Was ist Physik?“ An 8. Stelle befindet sich erstmals eine Aussage über die Funktion der Mathematik in der Theoretischen Physik. Es handelt sich dabei um das Item „Mathematik braucht man, um die Ergebnisse des Experimentes zu überprüfen“ (D). Das Item mit der höchsten Ablehnung ist eines zur physikalischen Theorie, und zwar „Physikalische Theorien sind nicht wahrheitsfähig, weil sie keinen direkten Bezug zum Experiment haben“ (A). Dies kann in der Weise interpretiert werden, dass Schüler:innen der Meinung sind, physikalische Theorien haben einerseits sehr wohl einen direkten Bezug zum Experiment, andererseits einen Anspruch auf Wahrheit. Weitere Items, die einen hohen Ablehnungsgrad aufweisen, sind vor allem jene zur Frage „Was sind Physikalische Gesetze?“ abgesehen vom Item „Physikalische Gesetze kommen in der Natur vor“ (A). Die übrigen Items dieser Fragestellung, wie „Physikalische Gesetze fassen die Ergebnisse von Experimenten zusammen“, „müssen experimentelle Daten wiedergeben“, „werden konstruiert und nicht entdeckt“, „werden akzeptiert, wenn Physiker die gleiche Meinung darüber haben“, finden eine hohe Ablehnung und befinden sich in der Rankingskala an den letzten Stellen.

#### 4.3. Selbsteinschätzung der Schüler:innen und ihr Interesse für Experimentalphysik und Theoretische Physik

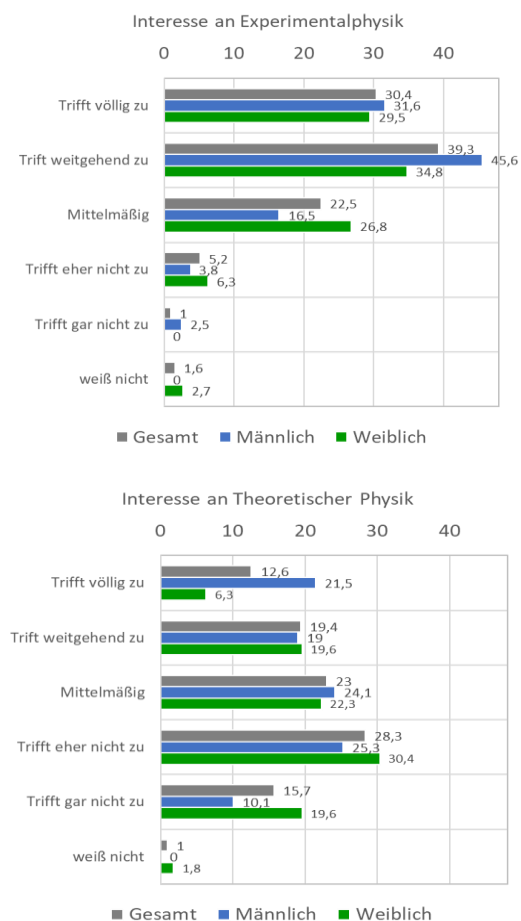
Die Auswertung der Selbsteinschätzung anhand der Häufigkeitsanalyse, unter Verwendung einer Gruppierung in Bezug zum Geschlecht der Probanden, zeigt folgendes Bild: Schüler schätzen ihr Verständnis im Physikunterricht durchwegs als gut bis sehr gut ein. Etwa 69 % entschieden sich für die positive Seite der Selbstbeurteilungsskala. Nur drei Probanden gaben an, ihr vorhandenes Physikverständnis sei schlecht. Bei den Schülerinnen hingegen verschiebt sich die Häufigkeit stark zur Mitte hin, 50 % entschieden sich für die Option „Mittel“. Zehn von ihnen kreuzten die Aussage „Schlecht“ an, drei entschieden sich für „Sehr schlecht“. Im Hintergrund spiegelt sich ein mangelndes Selbstvertrauen der Schülerinnen in ihr physikalisches Verständnis wider, welches mit einer Unterschätzung der Leistung im Physikunterricht einhergeht. Es ist grundsätzlich anzumerken, dass sich Schülerinnen in den Fächern Physik und Mathematik in Bezug zur Leistung niedriger einschätzen als

ihre männlichen Kollegen, und das, obwohl die Schulnoten in etwa auf gleicher Höhe sind (Baumert et al., 1997). Dies lässt sich in der Studie wiedererkennen.



**Abb.1:** Selbsteinschätzung der Schülerinnen (grün) und Schüler (blau) und der gesamten Stichprobe (grau) zu ihrem Verständnis in Physik. Angabe in Prozenten.

Die Auswertung betreffend das Interesse für die Experimentalphysik und die Theoretische Physik ergab folgendes Ergebnis:



**Abb.2:** Interesse der Schülerinnen (grün) und Schüler (blau) und der gesamten Stichprobe (grau) an der Experimentalphysik und an der Theoretischen Physik. Angabe in Prozenten.

Annähernd 70 % der Befragten finden die Experimentalphysik, 32 % die Theoretische Physik interessant. Es wird festgestellt, dass vor allem bei den Mädchen ein geringeres Interesse für die Theoretische Physik besteht. Aus dem Gesamtergebnis kann auf eine unsichere Haltung gegenüber der Theoretischen Physik geschlossen werden, aus der sich bei angemessener Motivation Neugierde für diesen Bereich der Physik entwickeln könnte.

Zusammenfassend muss gesagt werden, dass höhere Auswertungen mit den Daten nicht erfolgreich waren. Dies kann auch ein Hinweis dafür sein, wie unsicher Schüler:innen bei dem Thema sind. Diese Annahme würde auch, die bei 7640 Angaben 435-mal gewählte Ankreuzmöglichkeit „weiß nicht“, stützen. Bei 17,6 % der Aussagen waren sich die Proband:innen unsicher.

### 5. Diskussion und Ausblick

Zusammengefasst können folgende Ergebnisse hervorgehoben werden.

- Es kann keine einheitliche philosophische Denkweise bei den Schüler:innen rekonstruiert werden.
- Die Interessensfrage ergibt, dass die Experimentalphysik ( $2,06 \pm 0,92$ ) interessanter als die Theoretische Physik ( $3,15 \pm 1,27$ ) ist. Dieses Resultat ist nicht verwunderlich in Hinblick darauf, dass die Theoretische Physik im Unterricht im Allgemeinen wenig zur Geltung kommt.
- Grundsätzlich kann Interesse an der Theoretischen Physik festgestellt werden, vorwiegend bei männlichen Probanden, aber auch bei jenen Proband:innen, die bezüglich ihres physikalischen Verständnisses eine höhere Selbsteinschätzung haben.
- Die Aussagen zum Gesetzesbegriff in der Physik lassen darauf schließen, dass Lernende eine naiv-realistische Sichtweise bezüglich dessen Bedeutung vertreten: Sie sind mehrheitlich der Meinung, dass in der Physik Naturgesetze entdeckt und erklärt werden und physikalische Gesetze in der Natur vorkommen. Dies ist eines der bedeutendsten Beliefs über die Physik.
- Bezüglich der Aufgabe der Mathematik in der Physik lassen sich Hinweise finden, die auch mit den Forschungsergebnissen von Uhden (2012) und Krey (2012) vergleichbar sind. So lässt sich bei den Lernenden die Interpretation einer technischen Funktion der Mathematik in der Physik vorfinden, wobei die Mathematik vorwiegend als Werkzeug zur Beschreibung von experimentellen Ergebnissen gesehen wird. Im Allgemeinen scheint keine negative Haltung gegenüber der Mathematik vorzuliegen.

Die Auseinandersetzung mit Beliefs der Schüler:innen über die Theoretische Physik in der Schule hat viele Fragen offengelassen und vor allem viele Fragen erst aufgeworfen. So scheint die Elementarisierung der Theoretischen Physik im Physikunterricht

für die Physikdidaktik im deutschsprachigen Raum ein neues Gebiet zu sein. Wenn das Ziel des Physikunterrichts die Vermittlung eines angemessenen und gesamtheitlichen Bildes über die Physik sein soll, so muss auch die Theoretische Physik darin Eingang finden. Nur so ist es möglich, ein Verständnis für die Theoriebildung in der Physik sowie deren Arbeitsmethoden und Ziele zu entwickeln. In dieser Arbeit wurde versucht, die Problematik im Unterricht und die Bedeutung einer diesbezüglichen Forschung aufzuzeigen. Ziel dieser explorativen Datenanalyse war die Entwicklung einer Forschungsgrundlage, welche die Untersuchung über die noch unbekanntere Thematik unterstützen soll.

### 6. Literaturverzeichnis

- Baumert, J., Lehman, R., Lehrke, M. et al. (1997). *TIMSS – Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Deskriptive Befunde*. Opladen: Leske und Budrich.
- Blum, W., & Leiß, D. (2005). Modellieren im Unterricht mit der “Tanken“-Aufgabe. *Mathematik lehren*, 128, S. 18-21.
- Borromeo Ferri, R. (2006). Theoretical and empirical differentiations of phases in the modelling process. *ZDM Zentralblatt für Didaktik der Mathematik*, 38(2), S. 86-95.
- Bundesministerium Bildung, Wissenschaft und Forschung (2018). *RIS - Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen - Bundesrecht konsolidiert*, Fassung vom 01.09.2018 (bka.gv.at) URL: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568&FassungVom=2018-09-01> (Zugriff: 20.08.2021).
- Driver, R., Leach, J., Millar, R., & Scott, P. (1996). *Young People's Images of Science*. Buckingham, Philadelphia: Open University Press.
- Einstein, A. (1934). *Mein Weltbild*. Amsterdam: Querido Verlag.
- Fuchs, K. J., & Blum, W. (2008). Selbständiges Lernen im Mathematikunterricht mit „beziehungsreichen“ Aufgaben. Thonhauser, J. (Hrsg.): *Aufgaben als Katalysator von Lernprozessen*. Münster, Berlin, München, New York: Waxmann Verlag, S. 135-148.
- Heine, A., & Pospiech, G. (2015a). Wissenschaftstheoretische Vorstellungen über die Theoretische Physik. Expertenansichten über das Verhältnis von Experimentalphysik und Theoretischer Physik. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2015*.
- Heine, A., & Pospiech, G. (2015b). Wissenschaftstheoretische Vorstellungen Studierender über die Theoretische Physik. Bernholt, S. (Hrsg.): *Heterogenität und Diversität – Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht*. GDCP, Jahrestagung in Bremen 2014, Kiel: IPN, S. 459-461.

- Heine, A. (2018). *Was ist Theoretische Physik? Eine wissenschaftstheoretische Betrachtung und Rekonstruktion von Vorstellungen von Studierenden und Dozenten über das Wesen der Theoretischen Physik*. Dissertation. Berlin: Logos Verlag.
- Hewitt, P. G. (2006). *Conceptual Physics*. San Francisco, CA: Pearson-Addison-Wesley.
- Hilbert, D. (1992). *Natur und mathematisches Erkennen*. Vorlesungen gehalten 1919-1920 in Göttingen. Ausarbeitung von Paul Bernays. Rowe, D. E. (Hrsg.). Basel: Birkhäuser.
- Höttecke, D. (2001). Die Vorstellungen von Schülern und Schülerinnen von der „Natur der Naturwissenschaften“. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 7, S. 7-23.
- Höttecke, D., & Rieß, F. (2007). Rekonstruktion der Vorstellungen von Physikstudierenden über die Natur der Naturwissenschaften – eine explorative Studie. *PhyDid A – Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1/6.
- Höttecke, D. & Hopf, M. (2018). Schülervorstellungen zur Natur der Naturwissenschaften. Schecker, H., Wilhelm, Th., Hopf, M., & Duit, R. (Hrsg.): *Schülervorstellungen und Physikunterricht*. Berlin: Springer.
- Hume, D. (1748). An Enquiry Concerning Human Understanding. Create Space Independent Publishing Platform 2011.
- Kircher, E. (2015). Warum Physikunterricht? Kircher, E., Girwidz, R., Häusler, P. (Hrsg): *Physikdidaktik. Theorie und Praxis*. Berlin: Springer, S. 15-73.
- Krause, E. (2013). Physikalisches Denken – Wege zur Vermittlung konzeptionellen Verständnisses der Physik. *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2013*.
- Krey, O. (2012). *Zur Rolle der Mathematik in der Physik. Wissenschaftstheoretische Aspekte und Vorstellungen Physiklernender*. Berlin: Logos Verlag.
- Kuhn, T. S., (1976). *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*. Frankfurt: Suhrkamp.
- Larochelle, M., & Désautels, J. (1991). “Of course it’s just obvious”: Adolescent’s ideas of scientific knowledge. *International Journal of Science Education*, 13(4), S. 373-389.
- Litt, T. (1959). *Naturwissenschaft und Menschenbildung*. Heidelberg: Quelle & Meyer.
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. Weinheim und Basel: Beltz Verlag.
- Pauli, W. (1984): *Physik und Erkenntnistheorie*. Braunschweig: Vieweg Verlag.
- Popper, K. (1976). *Logik der Forschung*. Tübingen: J. B. C. Mohr.
- Schulz, A. (2017). *Beliefs über die theoretische Physik. Eine empirische Untersuchung über das Physikverständnis in der Schule*. Diplomarbeit. Universität Salzburg.
- Siller, H.-S. (2009). Der Begriff „Modellbilden“ in der Mathematik- bzw. Informatikdidaktik. *Beiträge zum Mathematikunterricht*. Münster: WTM-Verlag.
- Skemp, R. R. (1976). Relational understanding and instrumental understanding. *Mathematics Teaching* 77, S. 20-26.
- Solomon, J. (1996). School Science and the Future of Scientific Culture. *Public Understanding Science*, V 5, S. 157-165.
- Strahl, A. (2018). *Fachdidaktik der Naturwissenschaften unter besonderer Berücksichtigung der Physik*. 2. Auflage. Norderstedt: BoD – Books on Demand.
- Taşar, M. F. (2010). What part of the concept of acceleration is difficult to understand: the mathematics, the physics, or both? *ZDM Mathematics Education*, 42, S. 469-482.
- Uhden, O. (2012). *Mathematisches Denken im Physikunterricht. Theorieentwicklung und Problem-analyse*. Dissertation. Berlin: Logos Verlag.
- Uhden, O., Karam, R., Pietrocola, M., & Pospiech, G. (2012). Modelling mathematical reasoning in physics education. *Science & Education*, 21(4), S. 485-506.
- Uhden, O. (2016). Verständnisprobleme von Schülerinnen und Schülern beim Verbinden von Physik und Mathematik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22, S. 13-24.
- Witt, H. (2001). Forschungsstrategien bei quantitativer und qualitativer Sozialforschung, *FQS Forum: Qualitative Sozialforschung*, 2(1), Art. 8.