

Wie arbeiten und denken eigentlich Theoretische Physiker?

Das Lernen über die Natur der Naturwissenschaften umfasst unter anderem wissenschaftstheoretische Aspekte und somit auch die Methodologie der Physik. Diese ist unter anderem durch das Wechselspiel von Experiment und Theorie charakterisiert. In den Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern dominiert allerdings das Bild des experimentell forschenden Wissenschaftlers, wobei die theoretisch-mathematische Arbeit deutlich unterrepräsentiert ist (vgl. Höttecke, 2001). Interessant erscheint daher die Frage, wie letztere von Physikstudierenden konkret beschrieben wird oder auch wie Physiker selbst ihre Arbeitsweise schildern.

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit soll empirisch untersucht werden, welche Vorstellungen sowohl Fach- als auch Lehramtsstudierende des Fachs Physik über die Theoretische Physik aufweisen, wie ausgeprägt und differenziert das Bild ist und wie sich dieses im Laufe des Studiums verändert. Da die Dozenten einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die Vorstellungen der Studierenden haben, werden darüber hinaus auch Expertenansichten (Physiker, Physikdidaktiker) erhoben und mit den Studierendenvorstellungen verglichen.

Theoretischer Hintergrund

Für eine Beschreibung der Arbeit eines Theoretischen Physikers müssen zahlreiche Aspekte Beachtung finden, wie beispielsweise das Wechselspiel mit der Experimentalphysik, die Rolle von Modellen und Vereinfachungen oder auch der Mathematik. Auf eine Analyse vom Prozess der Theorienbildung sollte dabei ebenso nicht verzichtet werden.

Exemplarisch soll im Folgenden die Sichtweise von Albert Einstein auf den Verlauf der Theorienbildung, den er in einem Brief an seinen Freund Maurice Solovine beschreibt, vorgestellt und kritisch diskutiert werden (vgl. Einstein & Solovine, 1956). Jenes Schema (s. Abb. 1) ist als zyklischer Prozess zu verstehen, dessen Anfangs- und Endpunkt die Linie E am unteren Ende der Abbildung darstellt und von Einstein als „Mannigfaltigkeit der unmittelbaren (Sinnes-) Erlebnisse“ bezeichnet wird. Knapp über dieser Linie E hat Einstein einen gebogenen Pfeil eingezeichnet, der an die Spitze des Diagramms zum „System der Axiome“ führt.

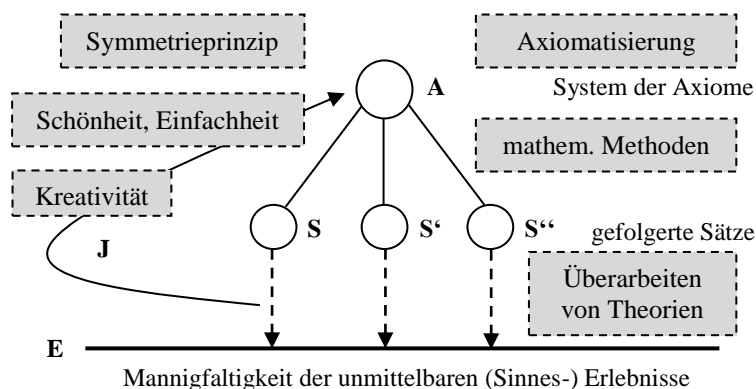


Abb. 1: EAJASE-Prozess der Theorienbildung nach Einstein
(vgl. Einstein & Solovine, 1956)

Jener gebogene Pfeil J (J = Jump = Sprung) stellt einen kühnen Gedankensprung von der Erfahrungswelt zum Axiomensystem dar. Die Frage danach, wie genau man zu jenem Axiomensystem respektive den Prinzipien gelangt, kann durch Einsteins Modell jedoch nicht beantwortet werden, da er der Meinung ist, dass der Forscher diese Prinzipien der „Natur ablauschen“ muss. In Ermangelung eines logischen Weges muss sich der Forscher bei seinem intuitiven Vorgehen an allgemeinen Prinzipien, zum Beispiel der Symmetrie und Ideen der formalen Einfachheit orientieren. Danach erfolgt, ganz im Gegensatz zum vorherigen Schritt, eine Phase, in der das strenge analytische Denken vorherrscht. Aufgrund der deduktiven Vorgehensweise und des logischen Schlussfolgerns haben die Einzelaussagen S den von Einstein angesprochenen „Anspruch auf Richtigkeit“. Da jene Richtigkeit allerdings von dem zuvor aufgestellten Axiomensystem abhängt, muss nach dem Aufstellen der Einzelaussagen, das Prüfen eben dieser an der Sinneserfahrung erfolgen.

Das Modell von Einstein erlaubt einen ersten Einblick in die Sichtweise eines Physikers über den Ablauf der Theorienbildung. Es weist jedoch auch Schwächen und Unzulänglichkeiten auf. Beispielsweise ist die Rolle des Experiments unterrepräsentiert und wird auf ein theorienprüfendes Element reduziert. Eine adäquatere Sichtweise hebt die wechselseitige Beziehung von Experiment und Theorie stärker hervor, in der das Experiment *oder* die Theorie den Ausgangspunkt darstellen, ständig in engem Zusammenhang stehen oder sich zunächst auch relativ unabhängig voneinander entwickeln (vgl. Hilbert, 1992; Heine, 2015). Diesem komplexen Zusammenspiel von Experiment und Theorie kann das Modell von Einstein nicht gerecht werden. Eine Ursache dafür ist auch die relativ starr vorgegebene zyklische Struktur, die auf einer immer gleichbleibenden Ablaufrichtung basiert. Dies führt zwangsläufig zu einer Sichtweise, die das wechselseitige Verhältnis von Experiment und Theorie nicht adäquat widerspiegelt. Der von Einstein beschriebenen EJASE-Prozess sollte allerdings dennoch nicht unbeachtet bleiben, da man daraus einige entscheidende Aspekte für die Arbeit eines Theoretikers ableiten (s. graue Kästen in Abb. 1) kann.

Studiendesign und Auswertungsmethode

Für die Beantwortung der Forschungsfragen wurde folgendes Studiendesign gewählt. Zunächst erfolgte die Durchführung zweier Vorstudien, welche die Fragebogenkonstruktion für die Hauptstudie unterstützen. Dieser Fragebogen enthält geschlossene Fragen zur Person sowie zum Interesse an Theoretischer Physik und Experimentalphysik als auch der Bedeutung beider Fachbereiche für die eigene berufliche Zukunft. Im Mittelpunkt stehen jedoch mehrere offene Fragen, welche eine strukturgebende Funktion für eine aufsatzähnliche Textproduktion zur Frage „Was ist eigentliche Theoretische Physik?“ aufweisen. Dafür wurde einleitend ein Fallbeispiel beschrieben, welches Fragen wie „was der Unterschied zwischen Experimentalphysik und Theoretischer Physik ist“ oder auch „wie Theoretische Physiker arbeiten und zu neuen Erkenntnissen gelangen“ aufwirft. Die von den Befragten geschriebenen Texte wurden nach erfolgter Digitalisierung mit Hilfe der qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet (vgl. Kuckartz, 2012). Ein zentrales Arbeitsmittel stellt dabei das deduktiv-induktiv entwickelte Kategoriensystem dar.

Ergebnisse

Wir präsentieren hier nur Ergebnisse zum Aspekt „Methoden, Denk- und Arbeitsweisen“. Hierdurch ließen sich verschiedene Unterkategorien finden, wobei die wichtigsten in Tabelle 1 enthalten sind. Darin lässt sich erkennen, dass beispielsweise 86% der Fachstudierenden zu Beginn ihres Studiums (1.-5. Semester) die Bedeutung mathematischer Methoden erkennen jedoch nicht die Rolle von Vereinfachungen. Letzteres entwickelt sich erst im Laufe des Studiums und wird gegen Ende der Studienzeit (6.-10. Semester) von 60% der Studierenden genannt. Aus den in Tabelle 1 dargestellten Ergebnissen ist zu erkennen, dass die

Vielfältigkeit der Beschreibung der Methoden mit steigendem Fachsemester bei allen Studierenden zunimmt. Vor allem kommen Aspekte wie Axiomatisierung, Modellierung und die Rolle von Vereinfachungen im Laufe der Zeit hinzu. Fachstudierende beschreiben die Arbeits- und Denkformen allerdings zu Beginn als auch am Ende des Studiums vielfältiger als Lehramtsstudierende im gleichen Semester.

Insgesamt sind die Beschreibungen der Experten umfassender und reichhaltiger. Vor allem Aspekte wie die Modellierung oder die Rolle von subjektiven Überzeugungen werden häufiger genannt als von Studierenden.

	math. Methoden	Simulation	Axiomatisierung	Überarbeitung von Theorien	Modellierung	Vereinfachung	subj. Überzeugungen	Zusammenarbeit
FACH-Beginn	86%	43%	0%	24%	24%	5%	19%	14%
FACH-Ende	60%	33%	47%	7%	40%	60%	20%	5%
LA-Beginn	32%	2%	4%	0%	10%	8%	2%	2%
LA-Ende	65%	16%	26%	10%	29%	10%	13%	3%
Experten	82%	65%	29%	41%	71%	35%	47%	29%

Tab. 1: relative Häufigkeiten für die Nennung der Kategorien bei Fach- (N=36) und Lehramtsstudierenden (N=120) sowie der Experten (N=17)

Fazit

Zwischen Lehramts- und Fachstudierenden zeigen sich deutliche und vor allem bedenkliche Unterschiede hinsichtlich der Vorstellungen zu den Denk- und Arbeitsweisen von Theoretischen Physikern.

Eine Möglichkeit den vorherrschenden inadäquaten Vorstellungen zu begegnen, könnte eine Integration von wissenschaftstheoretischen Aspekten in Fachvorlesungen darstellen, um somit nicht nur fachliche Kompetenzen zu fördern, sondern auch ein sogenanntes Überblickswissen auf- und auszubauen (Müller & Wilkens, unv.). Dies wäre ein möglicher Gesichtspunkt, in dem sich eine lehramtsspezifische Fachvorlesung von jener für angehende Physiker unterscheiden könnte.

Literatur

- Einstein, A., Solovine, M. (1956). *Lettres à Maurice Solovine: reprod. en facsimilé et trad. en français avec une introd. et 3 photographies.* Paris: Gauthier-Villars
- Heine, A., Pospiech, G. (2015). *Wissenschaftstheoretische Vorstellungen über die Theoretische Physik. Expertenansichten über das Verhältnis von Experimentalphysik und Theoretischer Physik.* In *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Wuppertal*
- Hilbert, D. (1992). *Natur und mathematisches Erkennen: Vorlesungen, gehalten 1919-1920 in Göttingen. Ausarbeitung von Paul Bernays.* Hrsg. Von David. E. Rowe. Basel [u.a.]: Birkhäuser
- Höttecke, D. (2001). *Die Vorstellungen von Schülern und Schülerinnen von der Natur der Naturwissenschaften.* *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 7, 7–23
- Kuckartz, U. (2012). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung.* Weinheim, Basel: Beltz Juventa
- Müller, A., Wilkens, M. (unveröffentlicht). *Theoretische Physik im Lehrerinnenstudium – Ein Plädoyer*