



Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung
Herrn Dr. Stefan Jorda
Postfach 15 53
63405 Hanau

Albert-Ludwigs-Universität
Freiburg

**Fakultät für
Mathematik und Physik**

apl. Prof. Dr. Thomas Filk

Hermann-Herder-Str. 3
79104 Freiburg

Tel. 0761/203-5803

thomas.filk@physik.uni-
freiburg.de

26. August 2021

PROJEKTDESCHREIBUNG

1 Ausgangslage

An vielen Universitäten, an denen ein Physikstudium sowohl zum Bachelor of Science der Physik mit anschließendem Master of Science der Physik als auch der polyvalente 2-Hauptfächerbachelorstudiengang mit der Option Lehramt für Physik möglich ist, sind die Vorlesungen sowie die Seminare und Laborversuche mehrheitlich auf den normalen Bachelorstudiengang ausgerichtet. Es ist selten, dass eigene Fachvorlesungen für das Lehramt angeboten werden. Die Veranstaltungen für den Bachelor of Science sind aber in erster Linie *forschungsorientiert*, d.h., die von den Studierenden erworbenen Kompetenzen dienen vornehmlich dem Lösen von Aufgaben. Für Lehramtsstudierende mag das für die Grundvorlesungen zur Mechanik, Thermodynamik und Elektrodynamik noch sinnvoll sein, doch für die fortgeschrittenen Vorlesungen, deren Inhalte nur noch zu geringen Anteilen den Rahmenlehrplänen an den Schulen entsprechen, führt dies oft zu unnötigen Hürden. Oftmals fehlen dadurch Inhalte, die für das Lehramt relevant sind. Im schlimmsten Fall kommt es zum Studienabbruch wegen fehlender Kompetenzen, die im Lehramt nicht notwendig sind.

Die zukünftigen Lehrerinnen und Lehrer benötigen eine eher *lehrorientierte* Ausbildung. Der Schwerpunkt sollte weniger auf mathematischen Techniken zum Lösen von Aufgaben liegen als auf einem anschaulichen Verständnis, von dem ausgehend eine Elementarisierung für den Unterricht vorgenommen werden kann. Die weitverbreitete Meinung, dass mit dem Beherrschen der mathematischen Techniken zum Problemlösen das grundlegende Verständnis der physikalischen Zusammenhänge einhergeht, ist nur bedingt richtig: Oftmals stellt sich das physikalische Verständnis erst bei einer tiefergehenden

Spezialisierung - z.B. im Rahmen der Promotion - ein. Auf die anderen Bereiche trifft leider die Kritik vieler Studierender zu, sie könnten die Dinge zwar ausrechnen, verstünden aber eigentlich nicht, was sie da tun.

Gerade Lehramtsstudierenden haben jedoch oft nicht die Möglichkeit, im Rahmen eines Master- oder Graduiertenprogramms diese Spezialisierungen vorzunehmen. Vielmehr benötigen sie physikalisches Wissen zu einem breiten Themenspektrum, das für Schülerinnen und Schüler von Interesse ist. Sie müssen jedoch nicht die Techniken beherrschen, in diesen Bereichen forschungsrelevante Probleme lösen zu können.

In einer *lehrorientierten* Ausbildung sollte daher dem physikalischen Verständnis (bis hin zu den wissenschaftstheoretischen und wissenschaftsphilosophischen Grundlagen) ein größeres Gewicht zukommen, als es in einer *forschungsorientierten* Ausbildung der Fall ist. Demgegenüber können die Techniken zur Problemlösung - zumindest in den Bereichen der modernen Physik, die nicht schulrelevant sind - mehr in den Hintergrund treten. Seit vielen Jahren wird daher - unter anderem auch von der DPG - gefordert, mehr lehramtsspezifische Veranstaltungen in das universitäre Curriculum aufzunehmen.

Diesem allgemeinen Bedürfnis, zwischen forschungs- und lehrorientierter Ausbildung zu unterscheiden, können die Universitäten aus mehreren Gründen oftmals nicht nachkommen: Zum Einen fehlen die Lehrkapazitäten, neben den unzähligen Pflicht- und Wahlpflichtveranstaltungen, die im Rahmen der Bachelor- und der verschiedenen Masterstudiengänge angeboten werden müssen, noch weitere Pflichtveranstaltungen für Lehramtsstudierende anbieten zu können. Zum Anderen fehlt bei vielen Hochschuldozierenden aber auch die Erfahrung im Umgang mit wissenschaftstheoretischen und wissenschaftsphilosophischen Fragen, da solche Themen in der regulären Physikausbildung meist nicht behandelt und für eine forschungsorientierte Ausbildung auch als nicht notwendig erachtet werden.

Meine Ziele in der lehramtsorientierten Ausbildung sind daher: (1) mehr schul- bzw. unterrichtsrelevante Themen in den Vorlesungen zu behandeln, (2) ein größeres Gewicht auf die Vermittlung der Grundlagenkonzepte zu legen, sowohl hinsichtlich ihrer mathematischen Formulierung - im Gegensatz zu den mathematischen Techniken zum Lösen von Problemen erscheint mir für Lehramtsstudierende ein gutes Verständnis der mathematischen Strukturen, in denen eine Theorie formuliert wird, sehr wichtig - als auch hinsichtlich ihrer physikalischen Bedeutung und Anschauung, (3) auch auf Fragen einzugehen, die gerade von Schülerinnen und Schülern gerne gestellt werden („Was passiert, wenn ich in ein Schwarzes Loch falle?“, „Wie habe ich mir eine Wellenfunktion vorzustellen?“, „Was ist eigentlich Energie?“, etc.), und diese Fragen nicht nur durch Angabe einer Formel zu beantworten, (4) Möglichkeiten einer Elementarisierung anzusprechen - oder auch, welche Form

der Elementarisierung man nicht wählen sollte, weil sie möglicherweise zu Fehlvorstellungen führen kann.

2 Projekt

Die Motivation vieler Schülerinnen und Schüler, Physik zu studieren, beruht häufig auf schulfremden Themen wie Kosmologie, dunkle Materie, Galaxienentstehung, Relativitätstheorie, Schwarze Löcher, Zeitreisen, Quantenteleportation, Quantenkryptographie, String-Theorie, intelligente Materialien, Deep Learning etc. Physiklehrerinnen und -lehrer werden oft nach solchen Themen gefragt, sind aber durch solche Fragen meist überfordert, da diese Themen im Allgemeinen nicht Teil des Curriculums der Lehramtsausbildung sind.

Mein Hauptziel im Rahmen einer Heraeus-Professur ist die Entwicklung eines Vorlesungskonzepts für Lehramtsstudierende im Master of Education. Diese Vorlesung soll sich Themen der modernen Physik widmen, die in der Schule von Relevanz sind - sei es, weil sie Teil des Lehrplans sind, sei es, weil es konkrete Fragen von Schülerinnen und Schülern aufgreift. Mögliche Themen und stichwortartige Inhalte einer solchen Vorlesung mit dem vorläufigen Titel *Ausgewählte Themen der modernen Physik für Lehramtsstudierende* sind:

1. Kosmologie: Standardmodell der Kosmologie, inflationäre Phase, Mikrowellenhintergrundstrahlung, dunkle Materie und dunkle Energie, Entstehung von Sternen, Sternsystemen und Galaxien.
2. Astrophysik: wichtige Koordinaten- und Kalendersysteme, astronomische Abstandsmessungen, Sterne im Hertzsprung-Russell-Diagramm, Sternaufbau und Sternentwicklung, Physik der Erdbewegung (Gezeiten, Erde-Mond-System, Präzession).
3. Halbleiterphysik und neue Materialien: np-Dotierung, Photozellen, LED-Leuchten; Graphen, organische Photozellen.
4. Relativitätstheorie: Differentialgeometrische Grundlagen, Gravitationswellen und ihr Nachweis, Einfluss auf das GPS, Physik Schwarzer Löcher und ihr Nachweis.
5. Standardmodell der Elementarteilchen und Quantenfeldtheorie (sofern nicht schon Inhalt der Vorlesungen zur Experimentellen Physik): Teilchengehalt des Standardmodells, Bedeutung der Feynman-Graphen, fundamentale Wechselwirkungen, Bedeutung des Higgs-Teilchens (Massenzuweisung durch Symmetriebrechung).

6. Quanteninformation (sofern nicht schon Inhalt der „Fortgeschrittenen Kompakten Theoretischen Physik“): Qubits, Realisation von Quantencomputern, Quantenteleportation, Quantenradierer, Quantenkryptographie.
7. Medizinphysik: Funktionsweise von CT, PET, MRT und fMRT, Sonographie, NIRS.
8. Physik und Nachhaltigkeit: neue Batterien, Treibhauseffekt, Energiespeicherung, Energietransport.
9. Wissenschaftstheoretische und -philosophische Grundkonzepte in der Physik: Experimentelle Beobachtung, Modell, Theorie; bezugssystembezogene Fehlvorstellungen bei Schülerinnen und Schülern; ontische und epistemische Konzepte der Physik.

Je nach Inhalt können solche Themebereiche zwischen ein- und vier Doppelstunden umfassen.

Parallel zur Vorlesung möchte ich ein Skript erstellen, das es nicht nur den Teilnehmenden an dieser Vorlesung, sondern auch Lehrpersonen ermöglicht, sich einen Überblick zu diesem Thema zu verschaffen. Die Auswahl der Themen erfolgt in Absprache mit Physiklehrern und -lehrerinnen. Außerdem bietet es sich an, einzelne Themen zu Inhalten von Lehrerfortbildungen zu machen.

Die einzelnen Abschnitte sollen inhaltlich unabhängig voneinander sein und unabhängig ausgewählt werden können. Außerdem können sie um weitere Abschnitte erweitert und den aktuellen Forschungsschwerpunkten angepasst werden. Im Gegensatz zu vielen populärwissenschaftlichen Darstellungen kann man auf ein lehramtsbezogenes Bachelorstudium in Physik aufbauen, muss jedoch andererseits nur soweit auf technische Einzelheiten eingehen, als es zum Verständnis der Zusammenhänge notwendig ist. In diesem Sinne unterscheidet sich das Niveau einer solchen Vorlesung sowohl von populärwissenschaftlichen als auch rein fachwissenschaftlich forschungsorientierten Darstellungen.

3 Wissenschaftstheoretische und wissenschaftsphilosophische Grundkonzepte in der Physik

Während die meisten oben angeführten Themen keiner Erörterung bedürfen, fällt der letzte Punkt „Wissenschaftstheoretische und wissenschaftsphilosophische Grundkonzepte in der Physik“ vermutlich etwas aus der Reihe, insofern er sich auf Inhalte bezieht, die dem konventionellen Physikstudium fremd sind. Daher möchte ich diesen Punkt etwas eingehender erläutern. Der

Übersichtlichkeit halber unterteile ich ihn in drei Teile: (1) Sprache in der Physik, (2) Experiment und Theorie, (3) Modell und Ontologie.

3.1 Die Rolle der Sprache in der Physik

Oft liest oder hört man in der Physik eine Sprache oder Ausdrücke, die nicht präzise sind. Für eine Diskussion zwischen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, die wissen, was gemeint ist, spielen solche Ungenauigkeiten meist keine Rolle (obwohl sich viele Streitpunkte schneller klären ließen, wenn zunächst die Begriffe, von denen die Rede ist, genau definiert würden). Gerade für Lehrende in der Schule aber auch an der Universität ist es aber wichtig, auf eine präzise Sprache zu achten, da die Lernenden die beabsichtigte Bedeutung noch nicht kennen und daher nicht immer von der geäußerten Bedeutung unterscheiden können.

Exemplarisch möchte ich einige wenige Beispiele herausgreifen:

- der Begriff der „Messung“ in der Quantentheorie: Dieser Begriff war schon häufig Gegenstand von Diskussionen (unter anderem in einem bekannten Artikel von John Bell *Against 'Measurement'*). Trotzdem wird oft nicht betont, dass es sich in der Quantentheorie bei Messungen nicht notwendigerweise um die Bestimmung von bereits bestehenden Eigenschaften eines Systems handelt, sondern dass diese Eigenschaften durch den Messprozess vielfach erst präpariert werden. In diesem Sinne können Sätze wie „Wir messen den Ort des Elektrons“ in mehrfacher Hinsicht beim Lernenden Vorstellungen implizieren, die nicht unbedingt Teil der Quantentheorie sind: Dass es sich bei einem Elektron immer um ein Teilchen handelt und dass dieses Teilchen einen wohl definierten Ort besitzt, der durch die Messung bestimmt wird.
- der Begriff „Zustand“ in der Physik: Gelegentlich hört oder liest man Sätze der Art „Das System befinde sich im Zustand Ψ “. Gerade in der Kopenhagener Deutung der Quantentheorie bezieht sich der Zustand aber auf unser Wissen über ein System und die Möglichkeiten, aufgrund dieses Wissens Vorhersagen über den Ausgang zukünftiger Experimente machen zu können. Eine bessere Sprechweise wäre daher „Das System wird durch den Zustand Ψ beschrieben“. Man vermeidet dadurch den Eindruck, man spräche über „die Realität“. Die Unterscheidung zwischen epistemischen und ontischen Aussagen kann ebenfalls viele Missverständnisse vermeiden.
- Man sollte auch sprachlich strenger unterscheiden zwischen dem, was tatsächlich beobachtet wird und unabhängig von einer Theorie ist, und der Deutung dieser Beobachtung im Rahmen einer Theorie. Beispiele

sind der Kraftbegriff in der Mechanik, der Begriff des elektromagnetischen Feldes, der Begriff der Wellenfunktion in der Quantenmechanik etc. Oftmals ist der Übergang von der reinen Beschreibung eines Phänomens zur Deutung im Rahmen eines Modells derart fließend, dass bei Schülerinnen und Schülern der Eindruck entsteht, die Modellkonzepte seien Teil des objektiven Phänomens.

- Die Betonung des Bezugssystems: Viele sogenannte Fehlvorstellungen von Schülerinnen und Schülern beruhen darauf, dass sie (ohne sich dessen bewusst zu sein) ein persönliches Bezugssystem (z.B. die von der Kopfhaltung vorgegebene Blickrichtung) einnehmen. Dass sich andererseits viele Vorgaben in Schulbüchern, von Lehrerinnen und Lehrern oder in Tests implizit auf Inertialsysteme beziehen (die in der Natur selten als natürliche Systeme auftreten) ist oftmals nicht nur den Lernenden sondern auch den Lehrenden nicht bewusst. Aus diesem Missverständnis lassen sich viele sogenannte Fehlvorstellungen von Schülerinnen und Schülern nachvollziehen.

Natürlich lässt sich ein derart komplexes Thema wie „die Rolle der Sprache in der Physik“ nicht in ein oder zwei Doppelstunden abhandeln. Wichtig ist jedoch, die Lehramtsstudierenden auf diese sprachlichen Ungenauigkeiten hinzuweisen und sie dafür zu sensibilisieren. Abgesehen davon erscheint mir dieses Thema auch noch nicht umfassend erforscht, sodass ich mich im Rahmen der Konzipierung der Vorlesung eingehender mit dieser Thematik befassen möchte.

3.2 Experiment und Theorie

Die Unterscheidung zwischen experimentellen Tatsachen und den theoretischen Erklärungen im Rahmen eines Modells wird oft nicht scharf getrennt. Beispielsweise findet man in vielen Büchern einen nahtlosen Übergang von der Beschreibung des freien Falls als beschleunigte Bewegung im Laborsystem, die eine experimentelle Tatsache ist, zu Aussagen der Art „die Ursache dieser Beschleunigung ist eine Kraft ...“. Eine Erklärung des freien Falls im Rahmen der allgemeinen Relativitätstheorie ist vollkommen anderer Natur: Der frei fallende Gegenstand definiert ein Inertialsystem und die beobachtete Beschleunigung ist nur für einen Beobachter sichtbar, dessen Bezugssystem kein Inertialsystem ist (z.B. weil es der Gravitation unterliegt aber am freien Fall durch andere Kräfte gehindert wird). Hier trifft das berühmte Zitat Einsteins zu: „Erst die Theorie entscheidet darüber, was man beobachten kann.“

3.3 Modell und Ontologie

Bei einem Treffen von Physiklehrern, Vertretern des Staatlichen Seminars für Lehrerbildung und mir als Vertreter der Universität im Regierungspräsidium Freiburg ging es um die Frage, ob man in der Schule Bohm'sche Mechanik unterrichten solle. Einer der anwesenden Gymnasiallehrer sah in der Bohm'schen Mechanik eine attraktive Alternative für den Unterricht und beharrte darauf: „Meine Schüler erwarten von mir eine Ontologie.“ Andere anwesende Lehrer bestanden darauf, dass man in der Schule den Modellcharakter physikalischer Theorien betonen müsse.

Unabhängig von der pädagogischen Frage, ab welcher Klassenstufe man Schülerinnen und Schülern eine Diskussion über den Unterschied von Modell und Ontologie zumuten kann - diese Frage sollte von Pädagogen beantwortet werden - erscheint es mir auch für die Lehre an der Hochschule wichtig, diesen Unterschied zu betonen. Allzu oft entsteht bei Studierenden der Eindruck, in der Physik gehe es um „die Realität“. Nicht nur in der Quantentheorie gibt es konkurrierende Interpretationen, die sich experimentell nicht mehr unterscheiden lassen. Auch für diese Aspekte der Physik sollten Lehramtsstudierende sensibilisiert werden.

4 Deliveries

Das Ziel ist, eine Sammlung von Themen zu entwickeln, die in einer solchen Vorlesung behandelt werden können und die für Lehramtsstudierende nicht nur von Interesse sondern auch relevant sind, z.B. weil sie im Rahmenlehrplan als mögliche Themen in der Kursstufe erwähnt werden oder weil sie häufig Gegenstand von Fragen von Schülerinnen und Schülern sind. Die Inhalte dieser Vorlesung sollen auf verschiedene Weise zugänglich gemacht werden:

- Zu dieser Sammlung soll ein Skript erstellt werden (sofern Interesse bei Verlagen besteht, kann es auch in Buchformat veröffentlicht werden). Das Skript kann ständig erweitert werden (ich plane, die zugehörige Vorlesung mehrfach zu halten, sodass ein Grundstock an Themen entsteht). Das schriftliche Format ist so konzipiert, dass auch andere Hochschuldozierende in der Lage sein sollten, eine solche Vorlesung zu halten, sodass diese Vorlesung hoffentlich auf lange Sicht in regelmäßigen Abständen angeboten werden kann.
- Teile dieser Sammlung sollen auch für Lehrerfortbildungen genutzt werden. Ich wurde von interessierten Lehrerinnen und Lehrern schon auf solche Fortbildungen angesprochen und möchte diese Ideen in diesem Rahmen sobald als möglich umsetzen.

- Auf Tagungen soll das Konzept vorgestellt und diskutiert werden. Es wäre wünschenswert, wenn sich Kolleginnen und Kollegen aus anderen Spezialgebieten daran beteiligen und ebenfalls Texte zu weiteren interessanten Themen verfassen.
- Interessierte Mitarbeiterinnen oder Mitarbeiter sollen gefunden werden, die bereit sind, eine Internetplattform mit dieser Sammlung zu pflegen. Es gibt bereits Plattformen ähnlicher Art zu unterrichtsrelevanten Themen, teilweise sogar ganze Unterrichtskonzepte. Möglicherweise kann man diese Plattformen um die „exotischeren Themen“, die bislang nicht Teil des Rahmenlehrplans sind, aber an denen Schülerinnen und Schüler Interesse haben, erweitern.