

Hendrik Maas<sup>1</sup>  
 Stina Scheer<sup>1</sup>  
 Gunnar Friege<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Leibniz Universität Hannover

## **Quantenmetrologie mit Schüler\*innen? Kursangebot zum Sichtbarmachen aktueller Forschung**

### **Quantenphysik und (Quanten)Metrologie in der Schule?**

Quantenphysikalische Inhalte finden sich, beispielsweise in Niedersachsen, erst im Kerncurriculum der Qualifikationsphase wieder (Niedersächsisches Kultusministerium, 2022). Quantenmetrologie wird im schulischen Kontext zumeist gar nicht thematisiert. Sie ist in der gegenwärtigen Forschung, zum Beispiel im Exzellenzcluster QuantumFrontiers, jedoch von großer Bedeutung (Leibniz Universität Hannover, 2022). An die Metrologie als Wissenschaft des Messens lässt sich mit Mitteln der Schulphysik bereits vor der Oberstufe anknüpfen. Auf den Beitrag der Quantenphysik kann dabei vorerst verzichtet und zu einem späteren Zeitpunkt um diesen ergänzt werden.

### **Masterclasses**

„MasterClasses sind halbtägige Workshops zu aktuellen Themen der Quantenmetrologie für Schüler\*innen der gymnasialen Oberstufe (Einführungs- und Qualifikationsphase)“ (Leibniz Universität Hannover, 2022). Sie orientieren sich an den vom Netzwerk Teilchenwelt entwickelten Teilchenphysik-Masterclasses (Teilchenwelt, 2022). „Die Lernenden werden dabei auf Grundlage ihrer im Physik- und Mathematikunterricht erworbenen Fähigkeiten an Themen der aktuellen Forschung herangeführt. Dabei können sie nicht nur experimentieren und neue Bereiche der Physik kennen lernen, sondern bekommen durch Kontakt mit Forschenden auch einen Einblick in den Wissenschaftsbetrieb“ (Leibniz Universität Hannover, 2022). Die MasterClasses sind Teil des Exzellenzclusters QuantumFrontiers (Leibniz Universität Hannover, 2022).

Ergänzend zu den MasterClasses gibt es das Angebot der MasterClasses Compact, das ursprünglich als Antwort auf strenge Hygieneauflagen in den Jahren 2020 und 2021 entstanden ist. Themen aus der aktuellen Forschung von QuantumFrontiers werden dabei in 90-minütigen Kompaktkursen angeboten. Hierbei haben Lehrkräfte die Möglichkeit ein zentrales Experiment in Klassensatzstärke sowie begleitendes Arbeitsmaterial auszuleihen und eine vorbereitete 90-minütige Unterrichtseinheit selbst durchzuführen. Inhaltlich werden curriculare Inhalte der Oberstufe mit den Forschungsthemen von QuantumFrontiers verknüpft. Ist die Schule entsprechend ausgestattet, kann das Angebot durch ein Videogespräch mit eine\*r Wissenschaftler\*in ergänzt werden.

### **Kursangebot**

#### *Von der Stromwaage zur Kibble-Waage*

Bei diesem Kurs handelt es sich um einen der 90-minütigen Kompaktkurse. Thematisch orientiert sich der Kurs an einer Einführung in die Fragestellungen der Metrologie und zeigt an Alltagsbeispielen die Relevanz dieser auf. Mit Stromwaagen-Experimentiersätzen der Firma Mekruphy können Lernende experimentell die Formel für die Lorentzkraft herleiten

und die Realisierung einer Waage betrachten. Aus der Betrachtung der Unsicherheiten bei der Stromwaage wird auf die Kibble-Waage (oder auch Watt-Waage) übergeleitet, die neben der Lorentzkraft die Induktionsspannung als zweites wichtiges Konzept zur Realisierung einer Waage verwendet. Die Kibble-Waage, die nach den Entwürfen von Chao et al. (2015) von der Abteilung Physikdidaktik der TU Braunschweig gebaut wurde, wird als Demonstrationsexperiment vorgeführt. Darüber hinaus wird auf den Beitrag der Kibble-Waage bei der Realisierung des Kilogramms vor dem Hintergrund der Neudefinition der SI-Einheiten eingegangen.

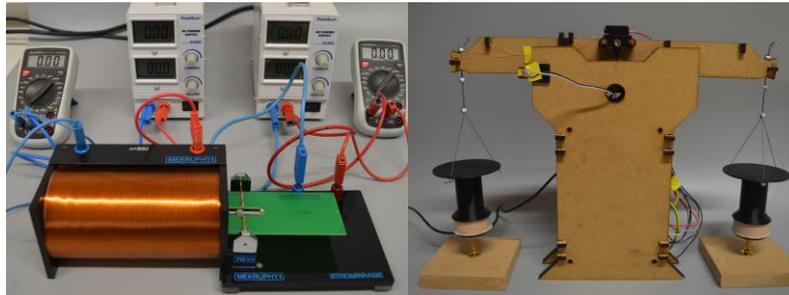


Abb. 1: Stromwaage

Abb. 2: Kibble-Waage

### *Interferometrie*

Bei diesem Kurs handelt es sich ebenfalls um einen der 90-minütigen Kompaktkurse. Die Interferometrie ist für die gegenwärtige Forschung von großer Bedeutung. So werden Interferometer beispielsweise zur Gravitationswellendetektion oder zur Vermessung der Eismassen der Erde eingesetzt. In die vielfältigen Einsatzgebiete von Interferometern im Exzellenzcluster QuantumFrontiers wird Lernenden mittels eines Erklärvideos, in dem Interferometer in verschiedenen Laboren gezeigt werden, ein Einblick gewährt. Zentrales Experiment dieses Kurses ist ein Experiment mit dem Ultraschall-Michelson-Interferometer der Firma Mekruphy.

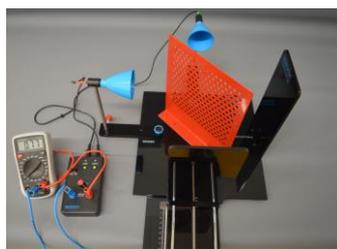


Abb. 3: Ultraschall-Michelson-Interferometer

### *Gravitationswellenastronomie*

In diesem halbtägigen Workshop erhalten Lernende mittels altersgerechter Mathematik einen Einblick in die Allgemeine Relativitätstheorie und Differentialgeometrie. Neben Experimenten zum Erkunden der Funktionsweise von Interferometern erfahren Lernende, wie

diese zur Gravitationswellendetektion eingesetzt werden. Anknüpfend an die Inhalte des Kurses erhalten die Lernenden darüber hinaus eine Laborführung und kommen in Form eines Speed-Informings in Kontakt mit Wissenschaftler\*innen.

#### *Mikrogravitationsexperimente*

In der Masterclass Mikrogravitationsexperimente wird das Äquivalenzprinzip als eines der wichtigsten physikalischen Grundprinzipien näher beleuchtet. Neben eigenen Freihandexperimenten, die Effekte der Mikrogravitation erfahrbar machen, erfahren Lernende etwas über aktuelle Experimente in der Forschung, bei denen Schwerelosigkeit erzeugt und genutzt wird. Höhepunkt des Kurses sind die Vorbereitung und Durchführung von Experimenten in Fallkapseln, die in einem Schacht neben dem Einstein-Elevator durchgeführt werden. Genau wie bei der Masterclass Gravitationswellenastronomie sind eine thematisch anknüpfende Laborführung und ein Speed-Informing Teil des Programms.

#### *Quantenkryptografie*

Das Verschlüsseln und abhörsichere Übertragen von Nachrichten hat eine lange Geschichte. In diesem Kurs erhalten Lernende einen Einblick in historische kryptografische Verfahren und erproben diese selbst. Darüber hinaus wird die gegenwärtige Bedeutung von Kryptografie an aktuellen Beispielen erläutert und ein Einblick gewährt, welchen Beitrag die Forschung zur Verbesserung dieser kryptografischen Verfahren liefert. Zentrales Element des Kurses ist ein Quantenkryptografieexperiment der Firma Thorlabs, mit dem ein Schlüssel generiert wird und Nachrichten übertragen werden können. Auch das Abhören durch einen Lauscher kann simuliert werden. Neben Physikkursen richtet sich dieser Kurs ebenfalls an Mathematik- und Informatikkurse.

#### **Ausblick**

Die vorgestellten Kurse wurden in den vergangenen zwei Jahren entwickelt und werden seitdem angeboten. Weitere Kurse zu Ionenfallen und Quantencomputern befinden sich gegenwärtig in der Entwicklung.

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder –EXC-2123 QuantumFrontiers – 390837967

**Literatur**

- Chao, L. S., Schlamminger, S., Newell, D. B., Pratt, J. R., Seifert, F., Zhang, X., Sineriz, G., Liu, M. & Haddad, D. (2015). A LEGO Watt balance: An apparatus to determine a mass based on the new SI. *American Journal of Physics*, 83, 913-922
- Leibniz Universität Hannover (2022). QuantumFrontiers Masterclasses. <https://www.quantum-frontiers.de/de/masterclasses> (Stand 10/2022)
- Niedersächsisches Kultusministerium (2022). Physik. Kerncurriculum für das Gymnasium – gymnasiale Oberstufe, die Gesamtschule – gymnasiale Oberstufe, das Berufliche Gymnasium, das Abendgymnasium, das Kolleg. [https://cuvo.nibis.de/cuvo.php?p=detail\\_view&docid=1517](https://cuvo.nibis.de/cuvo.php?p=detail_view&docid=1517) (Stand 06/2022)
- Teilchenwelt (2022). Masterclasses – Forschen für einen Tag. <https://www.teilchenwelt.de/angebote/masterclasses/> (Stand 10/2022)