

Quantenphysik in der Schule

DPG-Lehrerfortbildung

Der quantenmechanische Messprozess, etwa bei Superposition und Verschränkung, deutet laut Einstein auf die Nichtlokalität der Quantenmechanik hin, von deren Unvollständigkeit er bis zuletzt überzeugt war: Die Quantenmechanik sollte in einer späteren lokalen Theorie der Quantenphänomene als Grenzfall enthalten sein wie die Strahlen- in der Wellenoptik. Eine lokale Theorie der Quantenphänomene erfüllt die Hardy-Ungleichung. Diese wird jedoch im Experiment widerlegt. Philipp Scheiger (U Jena) zeigte dies anhand experimenteller Daten. Die Quantenmechanik scheint demnach eine vollständige Theorie der Quantenphänomene zu sein.

Anwendung findet die Quantenmechanik auch in der Quantenkryptographie. Gesche Pospiech (TU Dresden) stellte eine Unterrichtsreihe vor, die virtuelle Schülerexperimente („quvis“) nutzt. Beim BB84-Protokoll dienen polarisierte Einzelphotonen zum Schlüsselaustausch. Dieses Protokoll nutzt das No-Cloning-Theorem, nach dem es unmöglich ist, einzelne Photonen und somit eine Nachricht zu kopieren, ohne dabei durch den quantenmechanischen Messprozess im statistischen Mittel Fehler zu erzeugen. Alexander Pusch und Nils Haverkamp (U Münster) gaben praktische Tipps, um kostengünstig Experimente, etwa Interferometer, mit dem 3D-Drucker herzustellen. Die Empfindlichkeit ist mit teuren Varianten aus dem Handel vergleichbar.

Stefan Heusler (U Münster) stellte eine Möglichkeit vor, die zeitliche Dynamik von Zwei-Niveau-Systemen, wie den Tunneleffekt oder die Oszillation zwischen Elektron- und Myon-Neutrino, mittels der Bloch-Kugel zu veranschaulichen. Im weiteren Verlauf ging es um die Darstellung und das Begreifen verschränkter Zustände im Hilbert-Raum mithilfe von Papierstreifen. Er brachte auch ein Zitat von Steven Weinberg, das für alle physikalischen Modelle, unabhängig von der gewählten Repräsentation, gilt: „Unser Fehler ist nicht, dass wir unsere Theorien zu ernst nehmen, sondern dass wir sie nicht ernst genug nehmen.“ Dieses Zitat macht nachdenklich, auch in Bezug auf Einsteins Vorhaben, quantentheoretische Konzepte mit klassischen in Einklang zu bringen.

Unser Dank geht an die Organisatoren Philipp Bitzenbauer (U Erlangen-Nürnberg), Malte Ubben (U Münster) sowie an Victor Gomer und alle Mitarbeitenden des Physikzentrums Bad Honnef für das vielfältige und interessante Programm. Außerdem danken wir der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung, die sich an den Fortbildungskosten der teilnehmenden Studierenden und der DPG-Mitglieder großzügig beteiligt hat.

Patrick Sudowe, Städt. Heinrich-Mann-Gymnasium Köln, und **Christoph Dehne**, Henfling-Gymnasium Meiningen

Physikdidaktik – Quo vadis?

Klausurtagung

Vom 8. bis 11. Juni trafen sich 40 Professor:innen für Physikdidaktik aus Deutschland, Österreich und der Schweiz sowie vier Vertreter:innen nicht professoral besetzter Standorte zur Klausurtagung „Physikdidaktik – Quo vadis? Zukunftsperspektiven physikdidaktischer Forschung“ im Tagungszentrum Reinhardswaldschule bei Kassel. Die Tagung wurde vom Vorstand des DPG-Fachverbands Didaktik der Physik initiiert und von der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung gefördert. Der Präsenztagung war eine mehrjährige Vorbereitungsphase vorausgegangen, die zu einem „Quo vadis-Prozess“ führte:

- **Rückblick:** Wie hat sich die Physikdidaktik als wissenschaftliche Forschungsdisziplin entwickelt?
- **Stand der Dinge:** Was kennzeichnet die aktuellen Arbeitsfelder?
- **Kritische Analyse:** Wo sehen wir Stärken, Schwächen und Entwicklungschancen?
- **Zukunftsperspektiven:** Was sind Desiderate physikdidaktischer Forschung?
- **Konkrete Schritte:** themenbezogene, strategische und strukturelle Initiativen.

In der Vorbereitungsphase wurden über 500 physikdidaktische Dissertationen seit 1970 in einer Datenbank erfasst und ein Kategoriensystem zu ihrer Charakterisierung entwickelt. Am 7. und 8. Oktober 2021 fand ein Online-Meeting zum Thema „Schlaglichter und Reflexionen auf physikdidaktische Forschung“ statt, das einen Überblick über die gegenwärtig etablierten physikdidaktischen Forschungsrichtungen entwickelte. Im Eröffnungsvortrag der Präsenztagung beschrieb Horst Schecker (Bremen) die Genese der Physikdidaktik. Eine Gruppenarbeit griff die Ergebnisse des Online-Meetings auf. Daniel Laumann (Münster) berichtete über den Stand des „Dissertationsprojekts“. Vor diesem Hintergrund starteten die Teilnehmenden in die drei zentralen Phasen des Quo-vadis-Prozesses: Analyse, Zukunftsperspektiven und konkrete Schritte. In moderierten Kleingruppen zeigten sich die hohe Bereitschaft und das große Engagement aller Teilnehmenden zur offenen und wertschätzenden Diskussion.

Zentrales Ergebnis der Tagung sind sieben Arbeitsgruppen zu Zukunftsthemen der Physikdidaktik: Hochschuldidaktik, neue Tagungsformate, Portal „Leifi“-Physikdidaktik, Lehr-Lern-Wege zur Physik, Interessensforschung, Graduiertenprogramme, Quo vadis MINT-Didaktik? Im Herbst findet eine Nachlese als Online-Meeting statt, bei dem sich die sieben Initiativen vorstellen und zur Mitarbeit einladen. Das Quo-vadis-Programm ist dokumentiert unter www.schulpool.uni-wuppertal.de/quo-vadis.

Prof. Dr. Johannes Grebe-Ellis, U Wuppertal

Artificial and Intelligent Living Matter

Erica WE-Heraeus Workshop

Aktive Materie hat sich in den letzten 20 Jahren zu einem der führenden Forschungsgebiete der statistischen Mechanik, der kondensierten Materie und der biologischen Physik entwickelt, das auch in die Nachbardisziplinen ausstrahlt. Herden von Tieren, Vogelschwärme, Kolonien von Ameisen, Bakterien im Mikrokosmos und künstliche Mikroschwimmer bewegen sich in koordinierter Weise, vermittelt durch hydrodynamische Wechselwirkungen, sterische Kräfte, chemische Felder, aber vor allem auch durch visuelle Wahrnehmung in der makroskopischen Welt.

Dieser Workshop vom 27. bis 30. Juni im Tagungszentrum Ettore Majorana in Erica (Sizilien) hat den „State of the Art“ des Feldes exemplarisch in eingeladenen Vorträgen und Kurzbeiträgen Revue passieren lassen. Insbesondere sind künstliche Fortbewegungsmechanismen zu nennen wie aktive Emulsionen und Janusteilchen, die durch die erzeugte anisotrope Umgebung angetrieben werden. Es gibt viele kollektive Bewegungsformen, in denen auch nicht-reziproke Wechselwirkungen eine wichtige Rolle spielen, die im Nichtgleichgewicht auftreten und nicht dem dritten Newtonschen Gesetz genügen. Neue Aspekte der aktiven Turbulenz unter geometrischer Einschränkung wurden diskutiert, also eine Turbulenz, die bei kleinen Reynolds-Zahlen ohne Trägheit und nur aufgrund der aktiven Spannungen stattfindet. Die derzeit untersuchten Systeme werden komplexer. Dazu gehören Biofilme, ein Hybridmaterial aus Bakterien und Polymeren, und die Rheologie aktiver Suspensionen in viskoelastischen Flüssigkeiten, wie sie typischerweise in der Biologie vorliegen.

Neuere Entwicklungen im Experiment und in der Theorie verwenden soziale Wechselwirkungen, etwa Kräfte mit zeitlicher Retardierung oder ein eingeschränktes Blickfeld, um die kollektive Bewegung in belebter Natur mit künstlichen Mikroschwimmern nachzubilden. Zunehmend dient maschinelles Lernen dazu, mit unbelebten Objekten/Agenten die Lernerfahrung von Leben zu imitieren. Beispiele sind die Navigation von Insekten mittels Geruchswahrnehmung oder von Segelfliegern in Windströmungen. Schließlich kam die Synthese einer künstlichen Zelle zur Sprache, die mit der Umgebung interagieren kann. So lassen sich Mikroschwimmer für Transport-Prozesse in komplexer Umgebung, wie den Blutbahnen im menschlichen Körper, verwenden.

Die Organisatoren danken der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung, die erstmals eine Veranstaltung in Erica gefördert hat, für die großzügige finanzielle Unterstützung.

Prof. Dr. Holger Stark, TU Berlin