

## Hybrid Solid State Quantum Circuits, Sensors, and Metrology

722. WE-Heraeus-Seminar

Makroskopische Quantenzustände in Festkörpern in Form des Josephson- und des Quanten-Hall-Effekts dienen in der Metrologie zur primären Darstellung der Einheiten Volt und Ohm. Dagegen steht die Skalierung anderer Anwendungen von Festkörperquantensystemen wie Quantencomputern noch in den Kinderschuhen. Könnten die aktuellen Forschungen und Entwicklungen zu Qubits nicht von den ausgereiften Technologien metrologischer Anwendungen profitieren? Und könnte nicht die Metrologie die Möglichkeiten neuer, hochempfindlicher Festkörper-Quantensensoren für verbesserte Messungen nutzen? Diese Fragen standen am Anfang dieses Seminars, das vom 13. bis 16. Dezember online stattfand.

Zu ihrer Beantwortung kamen über 70 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zusammen, die sowohl die Grundlagen als auch die Anwendungen unterschiedlicher Festkörper-Quantensysteme theoretisch und experimentell untersuchen. Die dabei vorgestellten Systeme reichten von Einzelelektronenbauteilen und Josephson-Schaltungen über spinbasierte Quantensensoren und Qubits bis zu topologisch geschützten Materialien und Hybridsystemen. Bereits in den ersten Vorträgen bewiesen die lebhaften Diskussionen die breiten Anknüpfungspunkte zwischen metrologischen und nichtmetrologischen Anwendungen. So lassen sich Einzelelektronensysteme nicht nur für einen primären Quantenstandard für die elektrische Stromstärke verwenden, sondern die dafür entwickelte Technologie und theoretische Beschreibung auch für die zuverlässige Präparation einzelner Elektronen in flying Qubits nutzen. Ein weiteres Beispiel derartiger Synergien war die Verwendung der optimierten Reinraumprozesse für Josephson-Spannungsstandards zur Herstellung dreidimensionaler Nano-SQUIDs. Sie erlauben die hochempfindliche Detektion kleinster magnetischer Feldvektoren, mit denen sich wiederum nanoskalige Spinsysteme untersuchen lassen. Im Bereich der topologisch geschützten Systeme wurde deutlich, dass auch die Metrologie stark von neuartigen Quantenmaterialien profitieren kann: Hier gelang es mittels des quanten-anomalen Hall-Effekts erstmals, einen hochpräzisen Quantenstandard für den elektrischen Widerstand zu realisieren, der kein angelegtes Magnetfeld benötigt. Die eingehende Diskussion supraleitender Hybridsysteme, die topologisch geschützte Majorana-Moden mit Anwendungsmöglichkeiten für fehlertolerante Quantencomputer aufweisen, rundete das Seminar ab.

Im Rahmen der Postersitzungen stellten viele Promovierende ihre Forschungsergeb-

nisse vor. Wir danken der WE-Heraeus-Stiftung für die Förderung und hervorragende Organisation dieser Tagung.

**Priv.-Doz. Dr. Hans Werner Schumacher**, PTB Braunschweig; **Prof. Dr. Patrik Recher**, TU Braunschweig

## Lattice-based Quantum Simulation

726. WE-Heraeus-Seminar

Quantensimulationen nutzen ein kontrollierbares Quantensystem, um das Verhalten eines anderen, komplexeren Quantensystems vorherzusagen. Auf diese Weise öffnet sich ein Weg zur Lösung von Quantenproblemen mit einem Komplexitätsgrad, der für klassische Computer nicht zugänglich ist. Da sie sich in unterschiedlichen Quantensystemen einsetzen lassen, ist das Gebiet der Quantensimulationen multidisziplinär. Quantensimulationen bilden einen der Kernbereiche im EU-Flaggschiff-Programm zu Quantentechnologien, mit potenziellen Anwendungen bei der Lösung komplexer Probleme, z. B. bei der Entwicklung neuer Materialien und Medikamente.

Dieses WE-Heraeus Seminar hatte zum Ziel, Expertinnen und junge Forscher auf dem aufstrebenden Gebiet der Quantensimulationen zusammenzubringen. Es fand als Online-Veranstaltung vom 28. November bis 1. Dezember 2021 statt. Der Kern des wissenschaftlichen Programms bestand aus 19 Vorträgen von Experten, die als Tutorien angelegt waren und verschiedene Facetten der Quantensimulationen abdeckten. Dabei wurde der aktuelle Stand der Technik bei den derzeit wichtigsten Plattformen für die Quantensimulation behandelt, darunter optische Gitter aus kalten Atomen, Schaltkreis-Quantenelektronendynamik (QED), supraleitende Qubits sowie photonische und polaritonische Simulatoren. Weitere Vorträge befassten sich mit den theoretischen Grundlagen der Quantensimulationen sowie mit neuartigen Konzepten für die skalierbare Quantenverarbeitung, bei denen topologische, stark korrelierte Licht-Materie-Zustände untersucht werden. Das wissenschaftliche Programm wurde durch eine große Anzahl von Postern junger Forscherinnen und Forscher ergänzt. Wir sind sicher, dass der Austausch und die gegenseitige Befruchtung von Ideen, die durch die Diskussionen während der Vorträge und Poster möglich waren, junge Forscher fördern, die Zusammenarbeit stärken und die Sichtbarkeit des Fachgebiets verbessern werden.

Aufgrund der Pandemie fand das Seminar kurzfristig online statt. Glücklicherweise ermöglichte die hervorragende Web-Infrastruktur der WE-Heraeus-Stiftung eine sehr lebendige Online-Veranstaltung mit viel Austausch zwischen den rund 70 Teilnehmenden. Die Unterstützung durch die WE-

Heraeus-Stiftung war hervorragend. Dafür möchten wir uns sehr herzlich bedanken!

**Prof. Jacqueline Bloch**, UCNRS-C2N Paris; **Prof. Marzena Szymanska**, U College London; **Prof. Michal Matuszewski**, Polnische Akademie der Wissenschaften; **Dr. Paulo V. Santos**, PDI Berlin

## From Wind and Solar Energy to Chemical Energy Storage: Understanding and Engineering Catalysis under Dynamic Conditions

758. WE-Heraeus-Seminar

Für die Umwandlung von Wind und Solarenergie in chemische Energieträger müssen sich Deutschland oder auch die EU positionieren, um die Nettoemissionen von CO<sub>2</sub> zu senken und Chemikalien nachhaltig zu produzieren. Dies ist für Wissenschaft und Gesellschaft herausfordernd. Daher stieß dieses Seminar, das vom 10. bis 13. Januar stattfand, auf sehr große Resonanz – obwohl es kurzfristig in den virtuellen Raum verlegt wurde.

Mehr als 70 Teilnehmende diskutierten intensiv. Im Gegensatz zu fossilen Ressourcen schwankt die Wind- und Sonnenenergie auf einer Zeitskala von Minuten bis Tagen. Auch Katalysatoren stellen sich als extrem dynamische Materialien dar. Im Mittelpunkt standen katalytische Wege zur Umwandlung energiearmer Moleküle wie Wasser und CO<sub>2</sub> in energiereiche reaktive Moleküle wie Wasserstoff, Ammoniak und Kohlenwasserstoffe. Dazu wurden Prozesse wie die Elektrolyse von Wasser zu Wasserstoff und Sauerstoff sowie die Umwandlung von CO<sub>2</sub> in Kohlenwasserstoffe, Methanol, Methan und CO betrachtet.

Highlights waren die Präsentationen der elektrochemischen Ammoniaksynthese von Jens Nørskov und Ib Chorkendorff, die es erlaubt, die Produktion von Kunstdünger zu dezentralisieren, sowie die Vorträge von Beatriz Roldan Cuenya, Eranda Nikolla und Gabriele Centi über die elektrochemische CO<sub>2</sub>-Reduktion, mit deren Hilfe sich das Treibhausgas CO<sub>2</sub> speichern und die chemische Industrie dekarbonisieren lässt. Bert Weckhuysen gab Einblicke in die spektroskopische Untersuchung von Katalysatoren unter dynamischen Bedingungen, und Ulrike Krewer und Jan Rossmeisl zeigten, wie Theorie und Modellierung bei der Erforschung von energiebezogenen Materialien helfen können. Eine Abenddiskussion u. a. mit Max Fleischer (Siemens) und Andreas Förster (DECHEMA) drehte sich um die mögliche Zukunft unseres Energiesystems, und Stephan Schunk von HTE/BASF ging aus industrieller Sicht unter anderem auf die aktuelle globale Energieproblematik ein.

Wir bedanken uns bei allen Vortragenden sowie den Teilnehmenden für den angenehmen Austausch und bei der Wilhelm