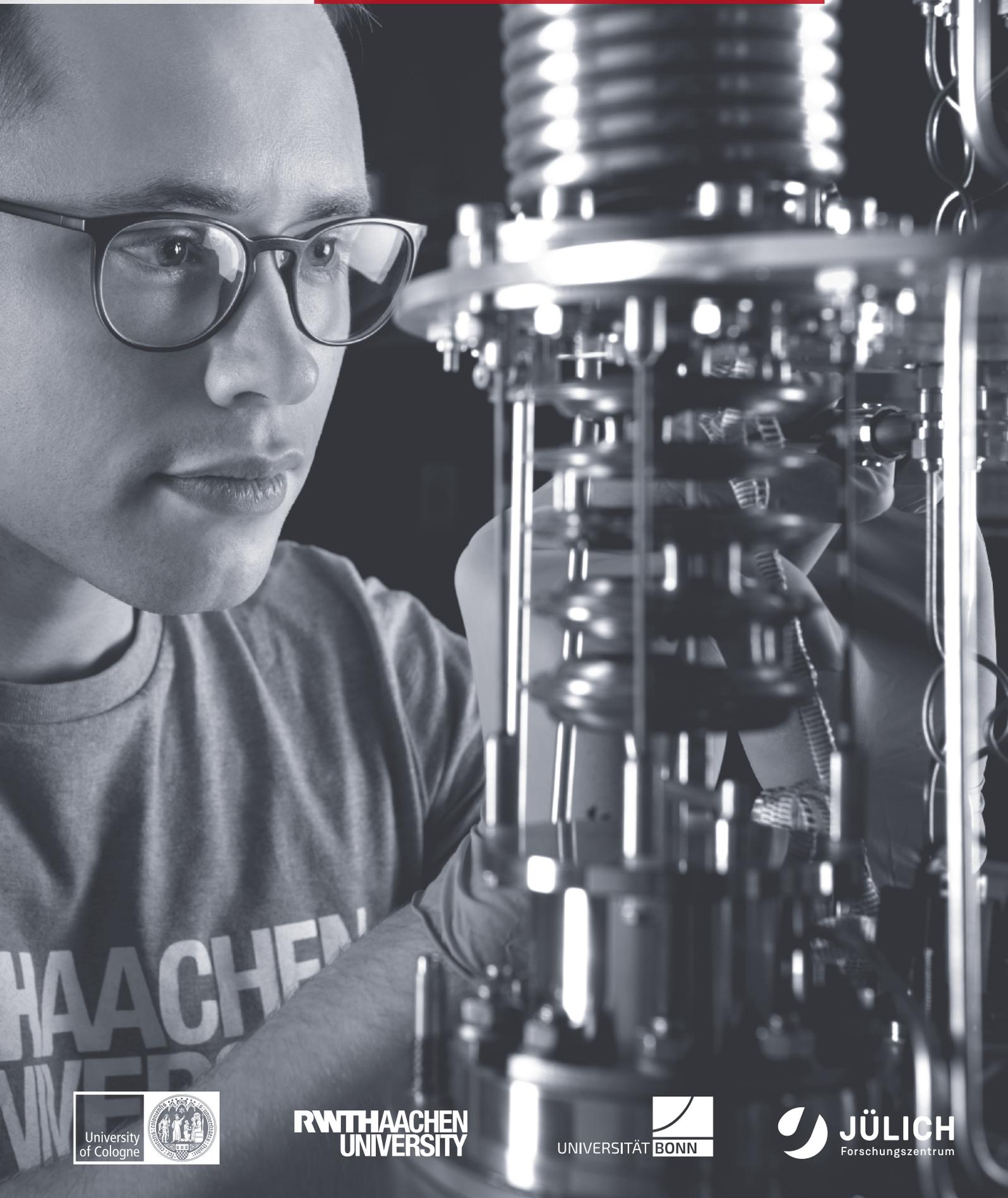


ML⁴Q

MATTER AND LIGHT FOR
QUANTUM COMPUTING

IN KÜRZE



**RWTHAACHEN
UNIVERSITY**

UNIVERSITÄT 
BONN

 **JÜLICH**
Forschungszentrum

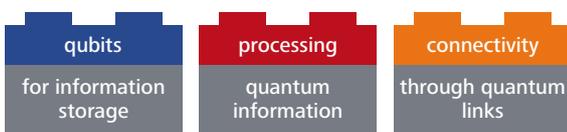
ML4Q IN KÜRZE

ML4Q steht für Matter and Light for Quantum Computing. Der Exzellenzcluster nahm 2019 sein wissenschaftliches Programm auf das die Grundlagen für eine umfassende Quantentechnologie mit Rechen- und Netzwerk-funktionalität schaffen soll. Dabei kollaborieren SpitzenwissenschaftlerInnen aus den Bereichen Festkörperphysik Quantenoptik und Quanteninformation.

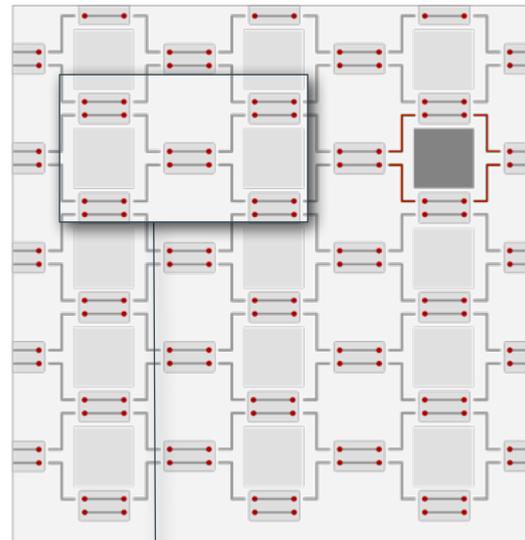
DIE MISSION

Nach Jahrzehnten rasanter Entwicklung werden fundamentale Grenzen in der Miniaturisierung von Computer-Hardware erkennbar. Der ungebremst steigende Bedarf an leistungsfähiger Technologie erfordert neue Lösungsansätze. Auf den Gesetzen der Quantenphysik basierende Technologien werden absehbar eine Schlüsselrolle in diesem Prozess spielen. Rechenleistungen weit jenseits klassischer Computer würden Quantencomputer zu mächtigen Werkzeugen beim Design neuer Materialien und Chemikalien oder der Gewährleistung sicherer Kommunikation machen.

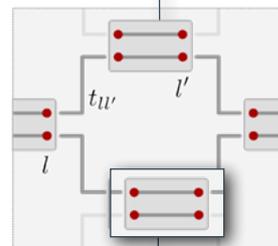
Das langfristige Ziel des Clusters besteht darin Netzwerk- und Rechenarchitekturen zu realisieren die durch Fehlerkorrekturprotokolle geschützt und schließlich mit einer Quantenversion des Internets verbunden sind. Dieses Ziel bringt eine Reihe an Herausforderungen mit sich die sowohl in der Grundlagenforschung als auch in der Technologie in frühen und späteren Stadien bewältigt werden müssen.



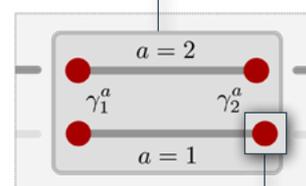
DIE VISION



Die Prozessoreinheiten eines Netzwerks umfassen Arrays von Qubits, deren Implementierung skalierbare Designs erfordert. Wir planen, diese Einheiten bis zum Ende der zweiten Förderperiode zu realisieren.



Die ML4Q Core Projects widmen sich der Entwicklung von Spin-Qubit-Plattformen sowie topologisch geschützten Majorana-Qubits. Letztere stellen eine alternative Plattform dar, die - wenn realisiert - langfristig eine überlegene Leistung verspricht.



Da die auf Majoranabasierende Quanteninformationshardware noch in den Kinderschuhen steckt, müssen große Herausforderungen überwunden werden. Dazu gehört die eigentliche Herstellung von Majorana-Qubits.



Auf einer noch grundlegenden Ebene sind die Realisierung und Optimierung von Quantenmaterialien, die die Majorana-Zustände beherbergen, Ziele für die ersten zwei Jahre der Laufzeit.

DAS WISSENSCHAFTLICHE PROGRAMM

Die wissenschaftliche Struktur von ML4Q umfasst vier Schwerpunktbereiche (Focus Areas) die sich jeweils mit einer Reihe spezifischer Probleme befassen die für die Mission des Clusters relevant sind. Alle Schwerpunkte umfassen sowohl theoretische als auch experimentelle Komponenten und überschreiten die Grenzen von Disziplinen und Institutionen.

- **Focus Area 1** widmet sich der Realisierung von Majorana-Quasiteilchen, die sich als Träger von Quanteninformation besonders eignen, in topologischen Phasen von Festkörpern und kalten Atomen.
- **Focus Area 2** zielt darauf ab, Majorana-Qubits als vielversprechende Alternative zu supraleitenden Qubits oder Spin-Qubits zu realisieren. Parallel dazu werden Protokolle zum Auslesen, Manipulieren und Fehlerkorrekturen entworfen.
- **Focus Area 3** entwickelt Konzepte zum Schutz von Quanteninformation und untersucht den Betrieb von Quantengeräten unter realistisch vorhandenen Störfaktoren und erforscht topologische und rechnerische Quantenmaterie, die einem externen Antrieb ausgesetzt ist.
- **Focus Area 4** konzentriert sich auf die Verknüpfung von Quantenverarbeitungseinheiten. Insbesondere werden Schritte unternommen, um integrierte atomare / optische und Festkörperplattformen zu realisieren und Quantenverbindungen zwischen heterogenen Qubit-Setups zu implementieren.

NACHWUCHSWISSENSCHAFTLER

Die Gewinnung und Bindung der besten jungen Talente durch wettbewerbsfähige Karrieremöglichkeiten hat für ML4Q oberste Priorität. Aktuelle Angebote umfassen:

- Stipendien für Studenten
- Independence grants für Postdoktoranden
- Neue tenure-track Professuren
- ML4Q Research School mit einem Clusterspezifischen Kursprogramm, z.B. Vorlesungsreihe Plattformen for Quantum Technologies für Masterstudenten
- Masterstudiengang für Quantentechnologien in Aachen sowie Vertiefungsvorlesungen in Quantentechnologien in Bonn und Köln

BETEILIGTE INSTITUTIONEN

ML4Q ist ein Verbund der Universität zu Köln, der Rheinische Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn, der RWTH Aachen sowie des Forschungszentrum Jülich. Partnerinstitutionen sind die Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen sowie das Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR in Wachtberg.

FÖRDERUNG

ML4Q wird im Rahmen der Exzellenzstrategie durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) seit 2019 gefördert. Die erste Förderlaufzeit endet in 2025.

ML4Q
IN
ZAHLEN



194

MITGLIEDER UND ASSOZIIERTE
MITGLIEDER



46

PROFESSOR:INNEN



64

INTERNATIONALE
WISSENSCHAFTLER:INNEN



70

DOKTORAND:INNEN



35

WISSENSCHAFTLERINNEN



37

MITARBEITER:INNEN IN
TECHNIK UND VERWALTUNG



7

FORSCHUNG-
INSTITUTIONEN



92

PUBLIKATIONEN IN 2020



41

POST-
DOKTORAND:INNEN



14

OPEN CALL PROJEKTE UND
INDEPENDENCE GRANTS



24

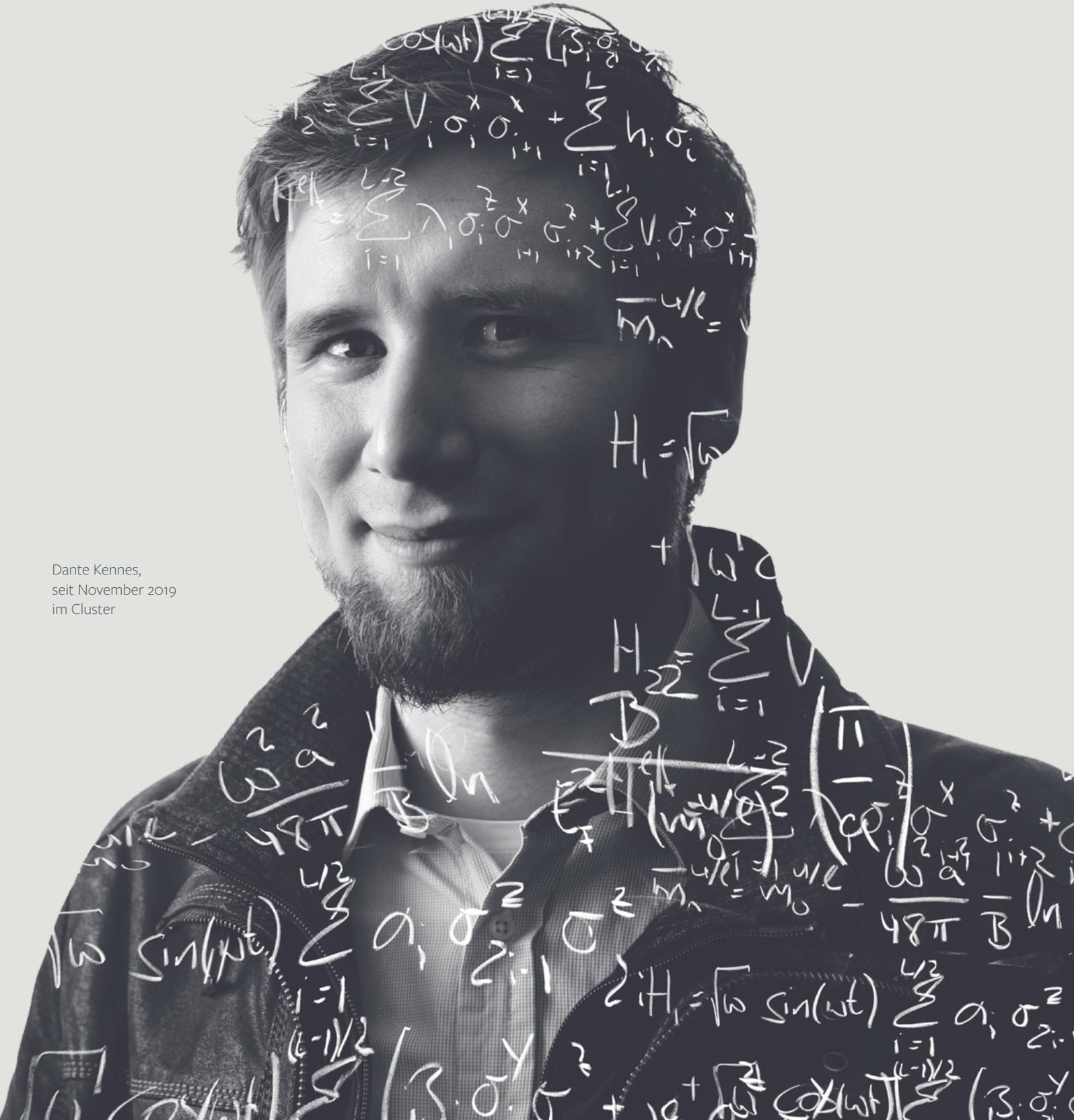
PUBLIKATIONEN IN 2020
MIT ZWEI ODER MEHREREN ML4Q
ARBEITSGRUPPEN
(3 STANDORT BERGREIFENDE
PUBLIKATIONEN)



DANTE KENNES

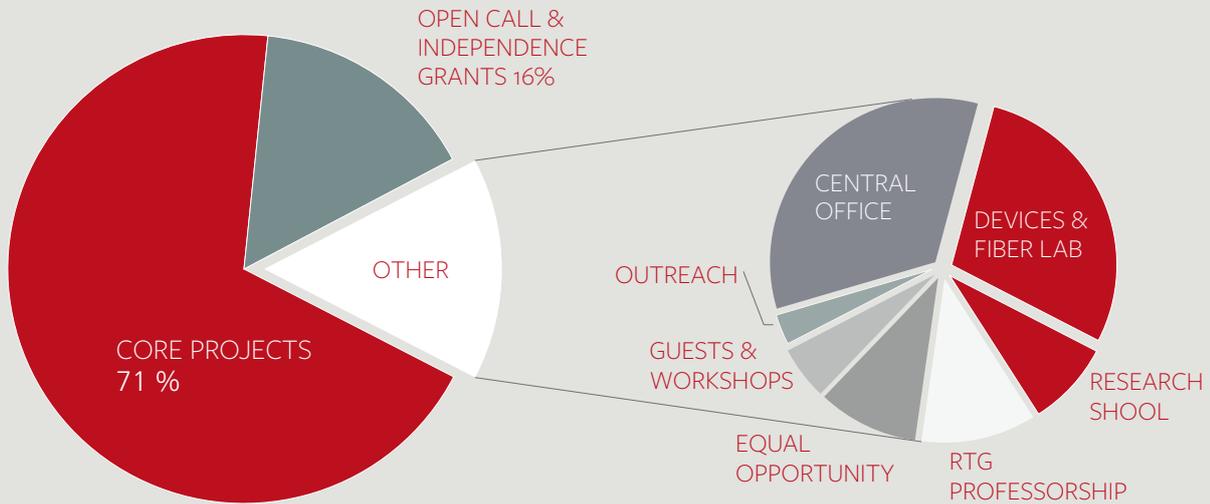
Das dynamische wissenschaftliche Umfeld von ML4Q sowie die unerlässlichen Bemühungen, die auf eine Vernetzung verschiedener geografischer und wissenschaftlicher Communities innerhalb des Clusters abzielen, erleichtern jüngeren Wissenschaftlern den Einstieg in die Quantencomputing-Forschung.

Dante Kennes,
seit November 2019
im Cluster

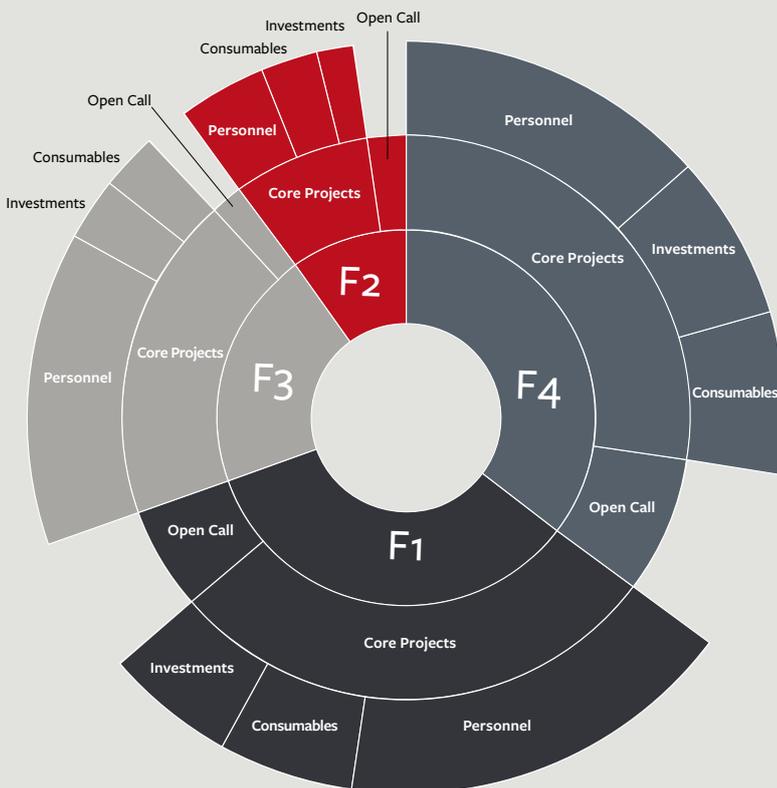


ML4Q IN ZAHLEN

KERNPROJEKTE & ZENTRALE EINRICHTUNGEN

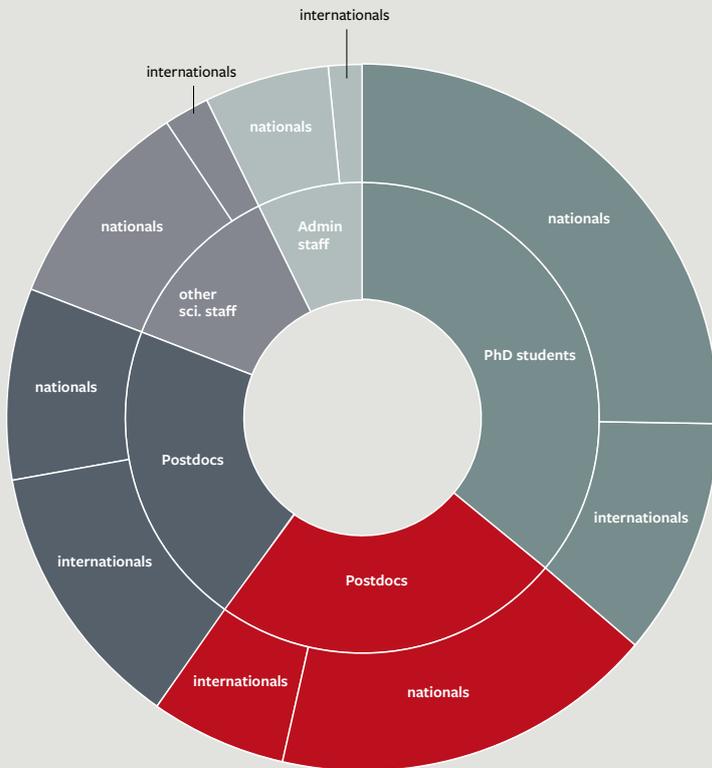


Im Jahr 2020 entfielen 71% der Ausgaben auf Personal, Instrumente und Verbrauchsmaterialien in den Kernprojekten. 16% wurden Open Call-Projekten und Independence Grants zugewiesen (im Vergleich zu 2% in 2019). Die Ausgaben für unterstützende Maßnahmen (Gleichstellung, Graduiertenschule, Öffentlichkeitsarbeit) sowie das Fiber Lab machten wie im vergangenen Jahr etwa ein Zehntel des Jahresbudgets aus.



Alle Fokusbereiche umfassen sowohl theoretische als auch experimentelle Komponenten und bringen somit unterschiedliche Bedürfnisse nach Personal, Verbrauchsmaterialien und Instrumenten mit sich. Dargestellt ist eine Übersicht über die Zuweisung der Projektmittel im Jahr 2020, aufgeschlüsselt nach Focus Area und Kostenart. Die meisten Fokusbereiche erfuhren zusätzliches Wachstum durch die Open Call Projekte.

INTERNATIONALISIERUNG



Alle akademischen Gruppen haben in 2020 ein Wachstum auf nationaler wie internationaler Ebene erfahren. 32% der ML4Q-Mitglieder sind internationale Wissenschaftler:innen aus über 20 Ländern (siehe untenstehende Karte). Wie im vergangenen Jahr zeigte die Gruppe der Postdotorandinnenden höchsten Grad an Internationalisierung.



- | | | |
|-----------------------|---------------|--------------------------------|
| BELGIEN | IRAN | RUMÄNIEN |
| BOSNIEN & HERZEGOWINA | ISRAEL | RUSSLAND |
| BRASILIEN | ITALIEN | SCHWEDEN |
| CHINA | JAPAN | SPANIEN |
| FRANKREICH | KANADA | UKRAINE |
| GEORGIEN | LIECHTENSTEIN | VEREINIGTES KÖNIGRIECH |
| GRIECHENLAND | NIEDERLANDE | VEREINIGTE STAATEN VON AMERIKA |
| INDIEN | ÖSTERREICH | |
| | POLEN | |

**EXZELLENZCLUSTER MATTER AND LIGHT
FOR QUANTUM COMPUTING (ML4Q)**

www.ml4q.de

SPRECHER

Prof. Yoichi Ando, Universität zu Köln

STANDORTVERTRETER

Prof. Hendrik Bluhm, RWTH Aachen

Prof. Martin Weitz, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Prof. David Gross, Universität zu Köln

Prof. Detlev Grützmacher, Forschungszentrum Jülich

ML4Q ZENTRALE GESCHÄFTSSTELLE

Universität zu Köln

Pohligstr. 3

50969 Köln, Deutschland

ml4q-office@uni-koeln.de

Dr. Philipp Wilking

Geschäftsführer

Tel.: +49 (0)221 470-6392