

## **Antrag**

**des Abg. Dr. Albrecht Schütte u. a. CDU**

**und**

## **Stellungnahme**

**des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst**

### **Hoch- und Höchstleistungsrechner, Neuromorphic Computing, Quantencomputing**

Antrag

Der Landtag wolle beschließen,  
die Landesregierung zu ersuchen  
zu berichten,

1. welche Rechenleistung Baden-Württemberg respektive die Universität Stuttgart über das Höchstleistungsrechenzentrum (HLRS) zur Verfügung stellt und welcher Anteil der maximal möglichen Leistung im Jahresmittel genutzt wird;
2. welche Nutzergruppen auf diese Leistungen zugreifen (prozentuale Aufteilung nach Universität Stuttgart, andere Hochschulen in Baden-Württemberg, weitere Forschungseinrichtungen in Baden-Württemberg, Wirtschaft in Baden-Württemberg, Wissenschaft/Forschung außerhalb Baden-Württembergs, Sonstige);
3. welche sonstigen Hoch- und Höchstleistungsrechner es in Baden-Württemberg gibt und wie das HLRS bzw. die weiteren Hoch- und Höchstleistungsrechner im deutschen, europäischen oder weltweiten Vergleich dastehen;
4. wie sich die Einnahmen und Ausgaben für das HLRS sowie weitere Hoch- und Höchstleistungsrechner darstellen (Aufteilung nach Mitteln der Universität Stuttgart, des Landes, des Bundes inklusive Bundesforschungseinrichtungen, Mittel der EU, weitere Drittmittel und Erstattung für die Nutzung);
5. welche Planungen sie hat, um die jetzige Position im Bereich der Hoch- und Höchstleistungsrechner zu halten bzw. auszubauen und was aktuelle Forschungsansätze sind, z. B. um Kapazität/Leistungsfähigkeit von Hoch- und Höchstleistungsrechnern zu erhöhen und/oder deren Energieverbrauch zu reduzieren;
6. welche Beispiele für herausragende Forschungsergebnisse es gibt, die ohne solche Höchstleistungsrechnerkapazität nicht hätten erzielt werden können;
7. an welchen Forschungsstandorten (Hochschulen bzw. Forschungseinrichtungen) in Baden-Württemberg Forschung zu Quanten- bzw. Neuromorphic Computing stattfindet;

Eingegangen: 6.2.2024/Ausgegeben: 6.3.2024

**1**

8. welche wesentlichen Forschungsergebnisse unter Nutzung von Modellen basierend auf Quanten- bzw. Neuromorphic Computing (z. B. frühes Universum, Molekülstrukturen) erzielt werden konnten;
9. welche Fortschritte zur Nutzung von Quantencomputing und Neuromorphic Computing sich aus den Forschungsansätzen ergeben haben;
10. wie sich diese Anstrengungen im deutschen, europäischen bzw. weltweiten Vergleich nach ihrer Kenntnis darstellen;
11. welche Angebote es in Baden-Württemberg gibt, um Quantencomputer bzw. Neuromorphic Computing als Forschungseinrichtung oder Firma nutzen zu können;
12. welche Beispiele für Erfolge es durch Nutzung von Quantencomputing bzw. Neuromorphic Computing gibt (Publikationen, Rechenergebnisse, Bau von Komponenten, die in diesen Rechnern genutzt werden etc.);
13. wie sich die Finanzierung von Forschung bzw. Nutzung von Quanten- und Neuromorphic Computing in Baden-Württemberg darstellt (originäre Universitätsmittel, Landes-, Bundes-, EU-Mittel, weitere Drittmittel).

6.2.2024

Dr. Schütte, Dr. Becker, Deuschle,  
Mack, Dr. Preusch, Sturm, Wolf CDU

#### Begründung

Hoch- und Höchstleistungsrechner ebenso wie die zukünftigen Möglichkeiten von nicht silizium-basierten Rechnern wie Quanten- und Neuromorphic Computing sind grundlegende Voraussetzung, um bei KI, den Lebenswissenschaften, Mobilitätsmodellen und -angeboten in der Forschung und Anwendung weltweit wahrgenommen zu werden.

Mit dem vorliegenden Antrag soll der Stand von Baden-Württemberg in diesen Bereichen und Möglichkeiten zum weiteren Ausbau geklärt werden.

#### Stellungnahme

Mit Schreiben vom 29. Februar 2024 Nr. MWK42-0141.5-33/5/4 nimmt das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst im Einvernehmen mit dem Ministerium für Finanzen und dem Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus zu dem Antrag wie folgt Stellung:

*Der Landtag wolle beschließen,  
die Landesregierung zu ersuchen  
zu berichten,*

1. *welche Rechenleistung Baden-Württemberg respektive die Universität Stuttgart über das Höchstleistungsrechenzentrum (HLRS) zur Verfügung stellt und welcher Anteil der maximal möglichen Leistung im Jahresmittel genutzt wird;*

Das Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart (HLRS) stellt aktuell eine Rechenleistung von 26 PetaFLOPs zur Verfügung. 1 PetaFLOP entspricht  $10^{15}$  Operationen pro Sekunde. Erreicht wird diese Leistung von 11 200 Prozessoren. Die durchschnittliche Auslastung dieser Prozessoren liegt bei ca. 90 %, was im internationalen Vergleich sehr gut ist. Dass die Auslastung nicht 100 % beträgt, liegt

daran, dass die Maschine sehr große Aufgaben berechnet. Bereiche der Maschine müssen teilweise warten, bis genügend Prozessoren für die nächste große Aufgabe verfügbar sind.

*2. welche Nutzergruppen auf diese Leistungen zugreifen (prozentuale Aufteilung nach Universität Stuttgart, andere Hochschulen in Baden-Württemberg, weitere Forschungseinrichtungen in Baden-Württemberg, Wirtschaft in Baden-Württemberg, Wissenschaft/Forschung außerhalb Baden-Württembergs, Sonstige);*

Gemäß Verwaltungsabkommen zur Förderung der drei Bundeshöchstleistungsrechenzentren stellt das HLRS Rechenleistung der Spitzenforschung zur Verfügung, diese kann aber auch durch die Wirtschaft genutzt werden. Beim Hawk als aktuellem Flaggschiff-Supercomputer des HLRS lag der Anteil aus der Wissenschaft im vergangenen Jahr bei 94 % (weiter aufgeschlüsselt entfielen 29 % auf die Universität Stuttgart, 4 % auf andere Hochschulen und Forschungseinrichtungen des Landes sowie 61 % auf Wissenschaftseinrichtungen außerhalb Baden-Württembergs), der Anteil der Wirtschaft betrug 6 % (weiter aufgeschlüsselt entfielen 5 % auf baden-württembergische Unternehmen und 1 % auf Unternehmen mit Sitz außerhalb Baden-Württembergs). Für das Gesamtbild ist aus Landessicht zu ergänzen, dass der Anteil baden-württembergischer Wissenschaftseinrichtungen an der Nutzung der beiden anderen Bundeshöchstleistungsrechenzentren in Jülich und Garching jeweils im Bereich von 10 bis 15 % liegt.

*3. welche sonstigen Hoch- und Höchstleistungsrechner es in Baden-Württemberg gibt und wie das HLRS bzw. die weiteren Hoch- und Höchstleistungsrechner im deutschen, europäischen oder weltweiten Vergleich dastehen;*

Die großen Rechnerressourcen sind im Land aufeinander abgestimmt und miteinander koordiniert, d. h. entlang einer sogenannten „Versorgungspyramide“ im High Performance Computing (HPC) organisiert. Durch die kooperativen Aktivitäten zwischen den wissenschaftlichen Rechenzentren des Landes können die Herausforderungen bewältigt sowie institutionen- und disziplinübergreifende Mehrwerte erzielt werden.

Das Höchstleistungsrechenzentrum an der Universität Stuttgart bedient als eines von drei nationalen Bundeshöchstleistungsrechenzentren die HPC-Ebene 1 (international/national) und gehört zu den weltweit größten, bedeutendsten und renommiertesten Einrichtungen im Supercomputing.

Das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) übernimmt die Rolle eines Zentrums für datenintensives Rechnen sowie eines landes- und bundesweiten Hochleistungsrechenzentrums auf der HPC-Ebene 2 (national/landesweit). Gemäß Beschluss der Gemeinsamen Wissenschaftskonferenz auf Basis einer Bund-Länder-Vereinbarung wird das KIT seit 2021 als eines von neun Zentren des Nationalen Hochleistungsrechnens (NHR) gefördert.

An fünf Universitätsstandorten wird die Basisversorgung mittels Rechenclustern für den HPC-Einstieg gemäß HPC-Ebene 3 (landesweit/regional) betrieben. Für eine optimale Unterstützung der Anwenderinnen und Anwender sind die einzelnen Standorte hierfür auf spezifische Fachdisziplinen spezialisiert und versorgen im Rahmen ihres Profils die entsprechenden Anwendungsgruppen im gesamten Land (Cluster für die Fächer Materialwissenschaften, Mikrosystemtechnik, Neurowissenschaften und Partikelphysik in Freiburg | Cluster für die Fächer Molekulare Lebenswissenschaften, Medizin, Physik der weichen Materie sowie Wirtschafts- und Sozialwissenschaften in Heidelberg | Cluster für die Fächer Astrophysik, Bioinformatik und Geowissenschaften in Tübingen | Cluster für die Fächer theoretische Chemie, Quantenphysik und Physik der kondensierten Materie in Ulm | Grundversorgung weiterer Fächer am KIT).

Es ist ein Alleinstellungsmerkmal des Landes Baden-Württemberg, alle drei HPC-Leistungsebenen vollumfänglich abzudecken. Dies trägt der volkswirtschaftlichen Bedeutung und der Stärke des Forschungs- und Wirtschaftsstandortes Baden-Württembergs Rechnung. Die koordinierte Vorgehensweise in Baden-Württemberg wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft als beispielgebend gelobt und in Wissenschaftsratsempfehlungen wiederholt referenziert.

Mit seinen Zentren nimmt Baden-Württemberg im Bereich des Hoch- und Höchstleistungsrechnens international eine Vorreiterposition ein.

*4. wie sich die Einnahmen und Ausgaben für das HLRS sowie weitere Hoch- und Höchstleistungsrechner darstellen (Aufteilung nach Mitteln der Universität Stuttgart, des Landes, des Bundes inklusive Bundesforschungseinrichtungen, Mittel der EU, weitere Drittmittel und Erstattung für die Nutzung);*

Das HLRS finanziert sich aus Mitteln des Bundes, des Landes, der Universität Stuttgart sowie durch eingeworbene (Dritt-)Mittel für Forschungsprojekte. Im Jahr 2023 wurden 15 Mio. Euro für den Rechnerausbau investiert (50 % Bundesmittel, 50 % zentrale Landesmittel) und ca. 12 Mio. Euro für den laufenden Betrieb verausgabt (ca. 37 % Bundesmittel, 10 % zentrale Landesmittel, 53 % Mittel der Universität Stuttgart). Zusätzlich eingeworbene Projektforschungsmittel des HLRS beliefen sich im Jahr 2023 auf ca. 7,3 Mio. Euro (davon ca. 32 % EU-Förderung, 36 % Bund- bzw. DFG-Förderung, 27 % Landesförderung, 5 % Industrieprojekte bzw. Stiftungsförderungen). Das HLRS hat im Jahr 2023 ca. 2,3 Mio. Euro aus der Erstattung für industrielle Nutzung seiner Rechnerressourcen eingenommen, die gemäß Vorgabe des Bundes reinvestiert werden.

Für das KIT als Zentrum des Nationalen Hochleistungsrechnens belaufen sich die Ausgaben für Investitionen, Betrieb- und Personalkosten jährlich im Schnitt auf ca. 7,3 Mio. Euro (davon 50 % Bundesmittel, ca. 21 % zentrale Landesmittel, ca. 29 % Mittel des KIT).

Für die letzten fünf Landesclusterbeschaffungen (bwForCluster und bwUniCluster) an den fünf Universitätsstandorten Freiburg, Heidelberg, Karlsruhe, Tübingen und Ulm wurden für ein einzelnes Cluster im Schnitt 4,5 Mio. Euro investiert, zusammen für alle fünf Cluster waren dies in den letzten vier Jahren zusammen 22,4 Mio. Euro (40 % Bundesmittel, ca. 37 % zentrale Landesmittel, ca. 23 % Mittel der Hochschulen). Die Betriebskosten der Landescluster werden von den Hochschulen selbst getragen.

*5. welche Planungen sie hat, um die jetzige Position im Bereich der Hoch- und Höchstleistungsrechner zu halten bzw. auszubauen und was aktuelle Forschungsansätze sind, z. B. um Kapazität/Leistungsfähigkeit von Hoch- und Höchstleistungsrechnern zu erhöhen und/oder deren Energieverbrauch zu reduzieren;*

Baden-Württemberg nimmt im Bereich des Hoch- und Höchstleistungsrechnens international eine Vorreiterposition ein. Diesen Vorsprung des Wissenschafts- und Wirtschaftsstandortes Baden-Württemberg im nationalen und internationalen Wettbewerb sichert die Landesstrategie für High Performance Computing (HPC) und Data Intensive Computing (DIC) für die Jahre 2017 bis 2024, die mit Ministerratsbeschluss vom 25. Juli 2017 verabschiedet wurde. Angedacht ist eine Fortführung der HPC-Landesstrategie bis zum Jahr 2032 mit neuen Akzenten. Eine diesbezügliche Konkretisierung der weiteren strategischen Planung und des Ausbaus wird derzeit erarbeitet. In diesem Zusammenhang wird auch die Initiative des Bundes zum weiteren Ausbau der drei Bundeshöchstleistungsrechnerzentren (einschließlich des HLRS) auf Weltklassenniveau einbezogen. Für den Zeitraum von 2025 bis 2032 will der Bund hierfür zusätzlich rund 375 Mio. Euro zur Verfügung stellen. Diese Bundesinitiative begrüßt die Landesregierung ausdrücklich.

Aktuell sind im Bereich des Höchstleistungsrechnens drei wesentliche Zielsetzungen zu beobachten:

- Die Rechenleistung wird durch leichtgewichtige Prozessorkerne, wie sie in Graphikkarten genutzt werden, erhöht. Das HLRS forscht hierzu gemeinsam mit Herstellern und ist bestrebt, Kooperationen zur Evaluierung völlig neuer Ansätze einzugehen.
- Das Quantencomputing kann derzeit noch keine klassischen Rechner ersetzen. Quantenprozessoren können potenziell aber ein Vielfaches an Leistungsfähigkeit erreichen. Demgemäß forschen auch HPC-Betreiber wie das HLRS mit Partnern an der Nutzung von Quantencomputern bzw. einer perspektivischen Einbindung in Hybrid-Plattformen.

- Um den Energiebedarf zu verringern, werden die Rechnerarchitekturen, der Rechnerbetrieb, die Programmierung von Benutzer-Programmen optimiert. Durch ein diesbezüglich gezieltes strategisches Vorgehen konnte beispielsweise das HLRS den Energieverbrauch seines derzeitigen Flaggschiff-Supercomputers Hawk um rund 40 % reduzieren. Dank seines gezielten Umwelt- und Energieeffizienzmanagements ist das HLRS auch als einziges Supercomputerzentrum in Europa nach EMAS zertifiziert, dem Gütesiegel der Europäischen Union für Umweltmanagement und Umweltbetriebsprüfung.

*6. welche Beispiele für herausragende Forschungsergebnisse es gibt, die ohne solche Höchstleistungsrechnerkapazität nicht hätten erzielt werden können;*

Auf Supercomputern durchgeführte Modellierungen und Simulationen ermöglichen Ergebnisse an den Grenzen der wissenschaftlichen Erkenntnis. Aus den Ergebnissen leiten sich Lösungen für drängende gesellschaftliche Herausforderungen ab (z. B. bei den Themen Gesundheit, Klimawandel, Energie, Migration, nachhaltige Mobilität, Technologiesprünge). Beispielsweise nutzt die Energieforschung Hochleistungsrechner für methodisch innovative Ansätze. Dabei werden Lösungsvorschläge erarbeitet, die nicht nur die Effizienz konventioneller Energiequellen steigern, sondern auch die Weiterentwicklung bestehender und die Konzeption neuer nachhaltiger Methoden zur Energieerzeugung und -versorgung fördern. Ein ähnlicher Effizienzansatz wird oftmals auch bei nachhaltigen Mobilitätsthemen verfolgt. Exemplarisch können hier Arbeiten des Instituts für Aero- und Gasdynamik an der Universität Stuttgart angeführt werden, die mit Hilfe von Simulationsverfahren eine verbesserte Bauweise von Flugzeugtragflächen mit geringeren Turbulenzen erreichte, was den Treibstoffverbrauch von Flugzeugen reduziert. Als weiteres Beispiel simulierte das Institut für Physik und Meteorologie der Universität Hohenheim die regionalen Auswirkungen des Klimawandels. Der Wissenschaftsrat hat mehrfach betont, dass im Hinblick auf komplexe und stark miteinander verknüpfte Forschungsfelder wie das Klima keine adäquate Alternative zu computergestützten Simulationen besteht, um Erkenntnisse zu gewinnen.

Supercomputern kann aber auch bei der Krisenbewältigung eine wichtige Rolle zukommen. So hat das HLRS gemeinsam mit dem Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung in der Coronapandemie die tägliche Vorhersage der Auslastung von Intensivbetten für alle 16 Bundesländer durchgeführt, was ohne diese Rechenleistung nicht möglich gewesen wäre.

Für einen genaueren Einblick in die wissenschaftlichen Ergebnisse auf Basis der Berechnungen am HLRS wird auf den jährlich im Springer Verlag erscheinenden Sammelband „High Performance Computing in Science and Engineering“ verwiesen. Darüber hinaus stellt das HLRS seine herausragenden Forschungsergebnisse auf der Webseite des Gauss Center for Supercomputing vor ([www.gauss-centre.eu/results/latest-projects](http://www.gauss-centre.eu/results/latest-projects)).

*7. an welchen Forschungsstandorten (Hochschulen bzw. Forschungseinrichtungen) in Baden-Württemberg Forschung zu Quanten- bzw. Neuromorphic Computing stattfindet;*

Forschung zu Quantencomputing wird unter anderem an der Universität Heidelberg, dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT), der Universität Stuttgart, der Universität Tübingen, der Universität Ulm, der Universität Freiburg, der Universität Konstanz und der Dualen Hochschule Baden-Württemberg (DHBW) betrieben. Das von den Universitäten Stuttgart und Ulm sowie dem Max-Planck-Institut für Festkörperforschung gegründete universitätsübergreifende Zentrum für Integrierte Quantenwissenschaft und -technologie (IQST) erforscht darüber hinaus interdisziplinär verschiedenste Aspekte der Quantentechnologien. Ziel des IQST ist es, die Forschung auf dem Gebiet der Integrierten Quantenwissenschaft und -technologie, und hier insbesondere an der Schnittstelle von unterschiedlichen Disziplinen, voranzutreiben. Schwerpunkte liegen in den Bereichen Quantensensorik und Quantencomputing. Das Zentrum schafft eine Brücke zwischen der Grundlagenforschung im Bereich der Quantenphysik und den Ingenieurwissenschaften, der Mathematik und der Chemie. Ein wichtiges Anliegen des IQST ist die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses.

Am Ulmer DLR-Innovationszentrum werden Entwicklungsprojekte im Auftrag der DLR-Quantencomputing-Initiative (DLR-QCI) zum Aufbau von Quantencomputern und dafür notwendigen Hilfstechologien in enger Zusammenarbeit mit Start-ups und Industrieunternehmen durchgeführt. Darüber hinaus werden hard- und softwarebasierte Forschungsprojekte zum Quantencomputing von den dort ansässigen DLR-Instituten für Quantentechnologien (DLR-QT), KI-Sicherheit (DLR-KI) und Technischer Thermodynamik (DLR-TT) durchgeführt. Aktuell werden am DLR-Innovationszentrum im Auftrag der DLR-QCI neun Hardware-Projekte mit acht Auftragnehmern aus der Industrie umgesetzt, die neben der Hardware-Entwicklung auch Software- und App-Entwicklungen umfassen. Weitere Informationen zu einzelnen Projekten finden sich unter <https://qci.dlr.de/projekte>.

Im Zeitraum 2020 bis Ende März 2024 unterstützt das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus mit insgesamt 40 Mio. Euro den Aufbau und Verbundprojekte des Kompetenzzentrums Quantencomputing Baden-Württemberg (KQCBW)<sup>1</sup>, welches von den Fraunhofer-Instituten für Angewandte Festkörperphysik in Freiburg (IAF) und für Arbeitswirtschaft und Organisation in Stuttgart (IAO) koordiniert wird. Mit dem Mitteleinsatz des Landes wurde im Wege von Projektförderungen an die Fraunhofer-Gesellschaft (FhG) anteilig der Aufbau und die Inbetriebnahme sowie exklusive Nutzung des IBM Quantum System One durch die FhG und ihre Projektpartner als erstem kommerziell leistungsfähigen europäischen Quantencomputer in Deutschland und Europa für vier Jahre ermöglicht. Diese Zusammenarbeit gründet auf einem Kooperationsvertrag zwischen IBM und der Fraunhofer-Gesellschaft zur Nutzung des Quantenrechners in Ehningen. Der Kooperationsvertrag zwischen IBM und Fraunhofer war der erste Vertrag zur exklusiven Nutzung des Quantenrechners in Ehningen nach europäischem Recht (DSGVO konform). Dieser Kooperationsvertrag endete Mitte Februar 2024.

Es wurden fünf Verbundforschungsprojekte zum Quantencomputing über zwei Förderphasen erfolgreich durchgeführt. An den Verbundprojekten sind insgesamt 23 Konsortialpartner beteiligt, darunter 14 Hochschulinstitute, sechs Fraunhofer-Institute und drei außeruniversitäre Forschungseinrichtungen und mit 58 Industriepartnern assoziiert. Es wurden themenbezogen 129 Veranstaltungen zum Quantencomputing mit insgesamt über 8 000 Teilnehmerinnen und Teilnehmern durchgeführt. In der ersten Projektphase (2021 bis 2022) entstanden 40 Publikationen und es wurden 73 Vorträge auf Konferenzen publiziert. In der zweiten Projektphase sind die Zahlen ähnlich positiv und befinden sich in der finalen Auswertung.

Forschung zu Neuromorphic Computing findet am KIT und am European Institute for Neuromorphic Computing (EINC) an der Universität Heidelberg statt. Im EINC wird das Potenzial der Informationsverarbeitung in und mit verschiedensten physikalischen Plattformen erforscht. Dies beinhaltet insbesondere neuromorphes Rechnen mit elektronischen, photonischen und auch atomaren Systemen.

*8. welche wesentlichen Forschungsergebnisse unter Nutzung von Modellen basierend auf Quanten- bzw. Neuromorphic Computing (z. B. frühes Universum, Molekülstrukturen) erzielt werden konnten;*

*9. welche Fortschritte zur Nutzung von Quantencomputing und Neuromorphic Computing sich aus den Forschungsansätzen ergeben haben;*

*10. wie sich diese Anstrengungen im deutschen, europäischen bzw. weltweiten Vergleich nach ihrer Kenntnis darstellen;*

Die Ziffern 8 bis 10 werden gemeinsam beantwortet.

Weltweit wurden in den letzten Jahren bedeutende Fortschritte in der Erforschung von Quantencomputing und Neuromorphic Computing erzielt.

Quantencomputer besitzen das Potenzial, komplexe Berechnungen exponentiell schneller durchzuführen als klassische Computer. Forschungseinrichtungen weltweit arbeiten an der Entwicklung von Quantencomputern und untersuchen deren Anwendungen in verschiedenen Bereichen, wie der Simulation von Molekülstruk-

<sup>1</sup> Link zur Homepage: [www.iaf.fraunhofer.de/de/netzwerker/KQC](http://www.iaf.fraunhofer.de/de/netzwerker/KQC).

turen, Optimierungsproblemen und künstlicher Intelligenz. Hier sind beispielsweise die folgenden Projekte zu nennen: „QRyd-Demo“ zum Quantencomputing mit Rydberg-Atomen (Universität Stuttgart und Universität Ulm), „PhoQuant“ unter Führung der Q.ANT GmbH, „PhotonQ“ unter Führung der Universität Stuttgart, „SPINNING“ unter Führung des Fraunhofer IAF, „DE-BRILL“ unter Führung der Quantum Brilliance GmbH und „AutoQML“ unter Führung des Fraunhofer IAO und IPA.

Beim Quantencomputing in der sogenannten Noisy-Intermediate-Scale-Quantum-Ära (NISQ)<sup>2</sup> handelt es sich um Technologien in einem relativ frühen und in Teilen noch grundlagenorientierten Forschungs- und Entwicklungsstadium. Heutige Systeme sind noch nicht geeignet, um einen Quantenvorteil für wirtschaftlich relevante Anwendungen in realen Größenordnungen zu erzeugen. Sie sind jedoch ein wichtiges Instrument, um erste Erfahrungen zu sammeln und Kompetenzen aufzubauen. So können Forschungsorganisationen, Universitäten und Unternehmen aus Baden-Württemberg, die u. a. als Partner im Kompetenzzentrum Quantencomputing Baden-Württemberg involviert sind, auf Erfolge verweisen, die z. B. in der Einwerbung von Projekten sowohl in der BMBF-Ausschreibung »Quantencomputer-Demonstrationsaufbauten« als auch in der BMWK-Förderung zu Quantentechnologien liegen und somit weitere Chancen bieten, sichtbar mit dem Land Baden-Württemberg eine führende Rolle im Rahmen eines nationalen und europäischen Ökosystems zu den Quantentechnologien einzunehmen.

Die langfristige Verankerung der Förderung erscheint dabei sehr wichtig, damit die Übertragung wissenschaftlicher Erkenntnisse in technologische Innovationen und konkrete Anwendungen gelingen kann. Daher hat die Landesregierung am 21. April 2023 die Landesinitiative Quantum<sup>BW</sup> gestartet (vgl. hierzu auch Frage 13).

Die Anstrengungen im deutschen, europäischen und weltweiten Vergleich variieren je nach Finanzierung, politischer Unterstützung und Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft, Industrie und Regierungseinrichtungen. Deutschland und Europa haben sich in den letzten Jahren verstärkt um eine führende Rolle in der Quanten- und Neuromorphic-Computing-Forschung bemüht, mit Investitionen in entsprechende Projekte und Infrastruktur. Dies hat dazu beigetragen, dass Europa in der Quantenphysik international führend ist – mit heute rund 50 % aller wissenschaftlichen Publikationen und fast 40 % der Forscherinnen und Forscher in diesem Bereich (vgl. [www.quantentechnologien.de/qt-in-deutschland](http://www.quantentechnologien.de/qt-in-deutschland)).

Baden-Württemberg befindet sich in einer hervorragenden Ausgangsposition, um die anstehende Quantenrevolution mitzugestalten und von ihr zu profitieren. Auf der Basis bereits etablierter Netzwerke exzellenter Quantenwissenschaft an den Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen sowie international führender High-Tech-Unternehmen und Start-ups ist unser Land prädestiniert, entscheidende Beiträge zu den nationalen und europäischen Initiativen in den Quantentechnologien zu leisten, erfolgreiche und profitable Produkte und Dienstleistung zu entwickeln und die entstehenden Märkte für Quantentechnologien zu besetzen.

*11. welche Angebote es in Baden-Württemberg gibt, um Quantencomputer bzw. Neuromorphic Computing als Forschungseinrichtung oder Firma nutzen zu können;*

Innerhalb des Kompetenzzentrums Quantencomputing Baden-Württemberg (KQC BW) wurde der erste IBM-Quantencomputer auf deutschem Boden installiert und steht Industrieunternehmen, KMU, Start-ups sowie akademischen Einrichtungen für den anwendungsbezogenen Einsatz zur Verfügung. Der Zugang von KQCBW-Projektpartnern zur IBM Quantencomputing-Plattform wurde über die Fraunhofer-Gesellschaft bis Mitte Februar 2024 vermittelt. Dabei wurde Pionierarbeit in der Erschließung des anwendungsorientierten Quantencomputings geleistet und Schlüsselkompetenzen an den beteiligten Instituten aufgebaut. Um Quantencomputer schnellstmöglich in den industriellen Einsatz zu bringen, bieten die Fraunhofer-Institute IAF und IAO zudem Schulungsreihen für Unternehmen und akademischen Einrichtungen an. Über eine etwaige Bereitstellung von zusätz-

<sup>2</sup> Vgl. Antwort zu Ziffer 2 der Landtagsdrucksache 17/5333.

lichen Landesmitteln zum weiteren Ausbau des von der Fraunhofer-Gesellschaft koordinierten KQC BW wurde bislang nicht entschieden.

Die DLR Quantencomputing-Initiative (DLR QCI) arbeitet im Rahmen von Ausschreibungen und Auftragsvergaben mit externen Industriepartnern und Start-ups an der Entwicklung von Quantencomputern sowie an gemeinsamen Software- und Anwendungsprojekten zur Nutzung der QCI-Hardware zusammen, die den gesamten Quantencomputing-Stack adressieren. Dabei geht es auch um die Entwicklung sowohl von Software-Technologien zur Steuerung von Quantencomputern wie auch Anwendungen für die kommerzielle Nutzung.

Einen alternativen Zugang für Unternehmen zu verschiedenen Quantencomputing-Services oder Simulatoren kann mitunter auch die bundesgeförderte PlanQK-Plattform ([www.planqk.de](http://www.planqk.de)) darstellen. Die kommerzielle Weiterentwicklung der Plattform wird von der Anaqor AG mit Sitz in Stuttgart und Berlin weitergetrieben.

*12. welche Beispiele für Erfolge es durch Nutzung von Quantencomputing bzw. Neuromorphic Computing gibt (Publikationen, Rechenergebnisse, Bau von Komponenten, die in diesen Rechnern genutzt werden etc.);*

Die Technologie der Quantencomputer birgt großes Potenzial, befindet sich aktuell jedoch noch in ihren Anfängen. Dabei sind die potenziellen Anwendungsfelder für Quantencomputing breit gefächert. In folgenden Branchen könnte der Einsatz jedoch besonders vielversprechend sein:

- Insbesondere im Finanzwesen eröffnet sich die Möglichkeit für die Durchführung komplexerer Berechnungen mit einer höheren Anzahl von Parametern. Dies ermöglicht beispielsweise die Minimierung finanzieller Risiken, wobei bereits Millisekunden in operativen Prozessen den Gewinn maßgeblich beeinflussen können.
- Das Gesundheitswesen und die Pharmaindustrie könnten erheblich von den Fortschritten im Quantencomputing profitieren. Insbesondere die präklinische Phase der Medikamentenentwicklung könnte durch die beschleunigte Computermodellierung molekularer Strukturen signifikant verkürzt werden.
- In der Chemieindustrie eröffnen sich zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten, insbesondere im Bereich der Computersimulation. Da chemische Prozesse in der Regel quantenmechanische Vorgänge sind, könnten Quantencomputer hier innovative Lösungen und Erkenntnisse bieten.
- Logistikunternehmen könnten durch Quantencomputing präzisere Wege für die effizienteste Navigation ermitteln. Dies könnte dazu beitragen, Leerfahrten zu minimieren und Unfälle zu vermeiden, da die Berechnungen deutlich genauer und schneller durchgeführt werden können.
- Quantencomputing kann das „Scheduling“ von Produktionsabläufen optimieren, also das Aufstellen eines idealen Zeit- und Ablaufplans für komplexe, hochflexible Produktionsprozesse.

Die im Jahr 2023 vom Fraunhofer-Institut IAO veröffentlichte Studie „Quantencomputing in der industriellen Applikation“<sup>3</sup> gibt einen umfassenden Überblick über die Bereiche Quantenhardware und -software und präsentiert Ergebnisse aus sechs Anwendungsfällen, die im Verbundforschungsprojekt „SEQUOIA – Software-Engineering industrieller, hybrider Quantenanwendungen und -algorithmen“ von sieben Partnerinstituten im Rahmen des KQC BW durchgeführt wurde.

<sup>3</sup> Link zur Studie: [www.iao.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/aktuelles/quantencomputing-in-der-industriellen-applikation](http://www.iao.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/aktuelles/quantencomputing-in-der-industriellen-applikation)



*13. wie sich die Finanzierung von Forschung bzw. Nutzung von Quanten- und Neuromorphic Computing in Baden-Württemberg darstellt (originäre Universitätsmittel, Landes-, Bundes-, EU-Mittel, weitere Drittmittel).*

Das Land hat seit 2019 über 115 Mio. Euro in Projekte und Infrastrukturmaßnahmen mit Schwerpunkt auf den Themen Quantencomputing und Quantensensorik investiert, die den Auf- und Ausbau dieser in ihrer Breite einmaligen Exzellenz unterstützen.

Baden-württembergische Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler wirken äußerst erfolgreich in vielen Bundes- und EU-geförderten Verbundprojekten mit: Alleine die Universitäten konnten in den vergangenen zehn Jahren rund 300 Mio. Euro an Drittmitteln einwerben. Insgesamt sind über 480 Mio. Euro an die Standorte der universitären und außeruniversitären quantenwissenschaftlichen Forschung in Baden-Württemberg geflossen.

Des Weiteren hat die Landesregierung am 21. April 2023 die Landesinitiative Quantum<sup>BW</sup> gestartet. In Quantum<sup>BW</sup> haben sich die führenden Forschungseinrichtungen und Unternehmen des Landes zusammengeschlossen, um Baden-Württemberg als Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort für Quantentechnologien gemeinsam strategisch weiterzuentwickeln, die internationale Sichtbarkeit als Quantenzentrum auszubauen und die Quantentechnologie aus dem Labor zur Anwendung zu bringen. Als langfristige und innovative Struktur wird Quantum<sup>BW</sup> eine noch engere Vernetzung und Bündelung von Kompetenzen und Akteuren entlang der gesamten Innovations- und Wertschöpfungskette fördern. Für Quantum<sup>BW</sup> stehen im Zeitraum 2023 bis 2027 aktuell rund 32 Mio. Euro an Landesmitteln zu Verfügung.

Mit Blick auf das Neuromorphic Computing ist der in Verbindung mit dem EU-geförderten FET<sup>4</sup>-Flagship „Human Brain Project“ erfolgte Neubau „European Institute for Neuromorphic Computing“ (EINC) hervorzuheben. Dieser Bau wurde inklusive Erstausrüstung durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) mit insgesamt rund 9,9 Mio. Euro sowie mit Mitteln des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst mit rund 2,1 Mio. Euro gefördert. Zusätzlich wurden für den Bau 6,0 Mio. Euro von privaten Förderern sowie rund 2,8 Mio. Euro Eigenmittel der Universität Heidelberg eingesetzt. Das Gebäude wurde der Universität Heidelberg am 31. Mai 2023 zur Nutzung übergeben.

Olschowski

Ministerin für Wissenschaft,  
Forschung und Kunst

---

<sup>4</sup> Future and Emerging Technologies (FET)