



Florian Neukart,
Director des
Volkswagen
Data Lab
in München

Quantencomputing in der Automobilindustrie

Quantencomputer versprechen in der Theorie, über ein enormes Leistungspotenzial zu verfügen, das die Rechenpower herkömmlicher Computer überholen könnte. Dieses Potenzial wird, mittelfristig gesehen, auch für erhebliche technische Entwicklungen in der Automobilindustrie sorgen. So hat VW 2019 in Lissabon das weltweit erste Pilotprojekt zur Verkehrsoptimierung mit einem Quantencomputer präsentiert. Das Volkswagen Data Lab arbeitet schon seit rund fünf Jahren an der Verwendung von Quantencomputing für neue Entwicklungen. Florian Neukart ist Director des Volkswagen Data Lab und Assistenzprofessor für Quantum Computing an der Universität Leiden. Er gibt Auskunft über den aktuellen technischen Stand von Quantencomputing bei VW.

Der Volkswagen-Konzern ist ein Vorreiter in der neuen Technologie rund um Quantencomputing. Wie setzen Sie sich derzeit mit diesem Thema auseinander?

Wir haben vor ungefähr fünf Jahren bei Volkswagen damit begonnen, uns aktiv mit Quantencomputing zu beschäftigen. Wir wollten verstehen, wie wir mit verfügbaren Quantencomputern praxisnahe Fragestellungen lösen können. Da ich selbst aus der Forschung komme, weiß ich um die Gefahr, die Materie zu theoretisch zu betrachten. Für uns steht deshalb immer die Frage nach den konkreten Praxismöglichkeiten des Quantencomputers im Zentrum: Wie kann ich industrie-relevante Probleme lösen? Nun war die Technologie vor fünf Jahren noch nicht so weit, trotzdem sahen wir damals schon erste Ansätze, Optimierungsprobleme mithilfe des Quantencomputers schneller zu lösen als mit herkömmlichen Rechnern. Das war der Kick-Off für eine intensiverte Beschäftigung mit Quantencomputing.

Was ist inzwischen passiert? Wie hat sich Ihr Startversuch vor fünf Jahren inzwischen weiterentwickelt?

Unser Team hat sich stetig weiterentwickelt und ist gewachsen. Heute ist Quantencomputing bei uns in vier Teilbereiche aufgeteilt: Optimierung, Simulation von Molekülen, IT-Sicherheit und Machine Learning. Bei der Optimierung wenden wir uns Verkehrsfluss- und Logistik-Optimierung zu. Bei Machine Learning schauen wir uns an, wie wir bestehende klassische Algorithmen quantenmechanisch erweitern können, um sie weiter zu verbessern und für unsere Zwecke nutzbar zu machen. Oder wir erfinden neue Algorithmen, die kein Gegenstück in der klassischen Machine-Learning-Welt haben. Die Simulation von Molekülen ist ein komplexes Feld, aber zugleich sehr vielversprechend. Je mehr Elektronen ich bei Molekülsimulationen hinzufügen kann, umso industrierelevanter wird mein Forschungsergebnis. Dies betrifft zum Beispiel die Batterieforschung.

Warum ist die Molekülforschung derart komplex?

Ein herkömmlicher Computer kann beispielsweise ein Molekül mit 1500 Elektronen nicht simulieren. Dafür reicht seine Rechnerleistung schlichtweg nicht aus. Doch gerade hier verspricht der Quantencomputer ein enormes Potenzial. Richard Feynman fundierte theoretisch bereits in den 1980er-Jahren die Möglichkeit eines Quanten-basierten Rechners. Seither besteht in der Forschung der Traum, das Quanten-System eines Moleküls in ein anderes Quanten-System, sprich in den Quantencomputer, zu bringen, um es damit zu simulieren. Das ist quasi der Heilige Gral des Quantencomputings. Auch Stand heute sind wir noch nicht bei industrierelevanten Materialien angelangt, sondern schauen uns runterskalierte Anwendungsfälle wie kleine Moleküle an. Wir wollen ver-

stehen, wie ein Algorithmus zur Molekül-Simulation entwickelt werden kann. Dahinter verbirgt sich die Hoffnung, dass eines Tages derselbe Algorithmus auf fehlertoleranten und verbesserten, leistungsstärkeren Qubits auch größere Moleküle simulieren kann.

Das klingt nach Grundlagenforschung mit der Möglichkeit, durch verbesserte Technik auch quantitativ größere Forschungsergebnisse zu erzielen. Was interessiert Sie als Automobilhersteller daran? Was können Sie aus einer durch Quantencomputing generierten Molekül-Simulation ableiten?

Wir sehen hier großes Potenzial in der Batterieforschung. Mit Quantencomputing wollen wir in die Batteriechemie hineingehen, um entweder einen besseren Elektrolyt zu entwickeln oder um bessere Materialien für Kathoden und Anoden zu finden. Dies wiederum erlaubt es uns dann, die Reichweite von Batterien zu erhöhen oder die Ladezeit zu verringern. Insgesamt verbessert sich die Qualität der Batterie, sie ist weniger anfällig für Brüche und Strukturveränderungen im Material selber. Wir haben hierfür bereits Algorithmen entwickelt, die auch publiziert und patentiert sind, mit denen wir kleine Systeme mit zwei oder drei

„Wir wollen verstehen, wie ein Algorithmus zur Molekül-Simulation entwickelt werden kann.“

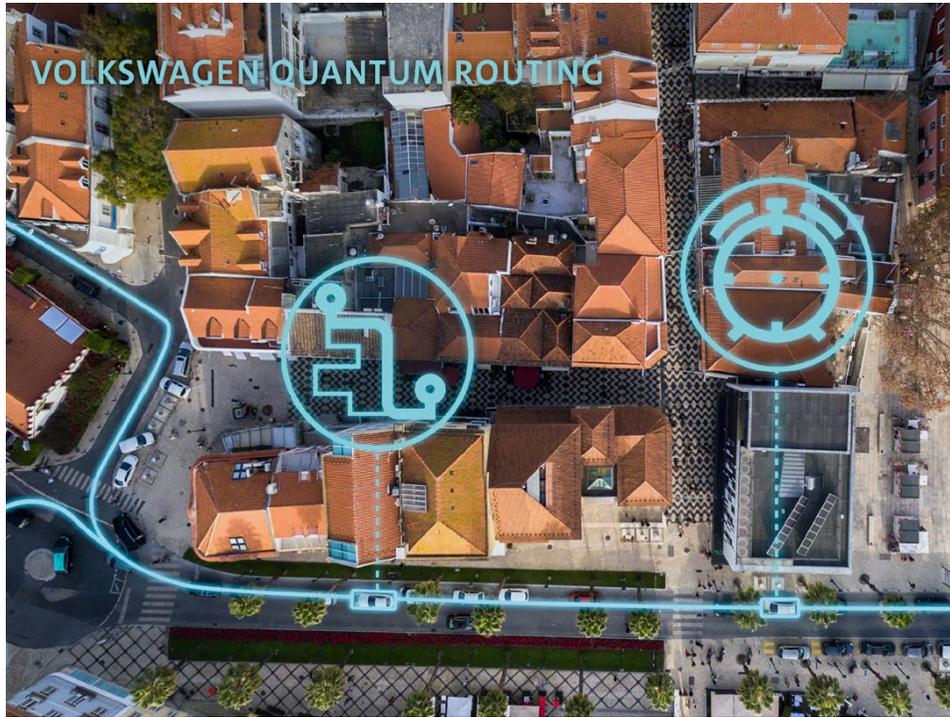
atomischen Molekülen simulieren können. Das verändert die heutige Batteriechemie zwar noch nicht, aber die von uns eingesetzten Algorithmen haben das Potenzial, mit mehr Rechnerleistung auch größere Simulationen zu bewerkstelligen, die dann direkten Einfluss auf unsere Batterieherstellung nehmen könnten. Das kann – wobei das schwierig zu sagen ist – in fünf bis zehn Jahren der Fall sein.

Unter Ihre vier Aufgabenbereiche des Quantencomputing-Teams fällt auch IT-Sicherheit. Warum?

IT-Sicherheit ist ein wichtiges Thema in allen Bereichen von Volkswagen. Seit den 1990er-Jahren gibt es den sogenannten Shor-Algorithmus. Mit dem ist es möglich, primfaktorbasierte Verschlüsselungsverfahren – und darunter fallen sehr viele gängige Verschlüsselungsverfahren in unserem Alltag – anzugreifen. Wir stellen uns vordergründig die Frage: Was passiert, wenn jemand in zehn Jahren mit einem hypothetisch perfekten Quantencomputer Daten entschlüsseln kann? Wir schauen uns Algorithmen an, die wir zur Verschlüsselung nutzen können, um dieser Gefahr entgegenzusteuern. Ich denke, mit dem Thema werden sich in den nächsten Jahren alle Branchen intensiver beschäftigen.

Schon im Oktober 2019 haben Sie ein Projekt zur Verkehrsoptimierung in Lissabon vorgestellt. Wie ist Quantencomputing hier involviert?

Wir haben damals mit Quantenchips eine bewegte Flotte ausgestattet und ihren Verkehrsfluss in Echtzeit optimiert. Der Quantencomputer ist auch hier ein Co-Prozessor, das



Volkswagen startete 2019 in Lissabon das weltweit erste Pilotprojekt zur Verkehrsoptimierung mit einem Quantencomputer.

heißt, die Routen, welche die Fahrzeuge nehmen, können von Quantencomputern ob ihrer enormen Rechenleistung vorausgedacht werden. In unserem Fall waren das Busse, die an mehreren Stopps planmäßig anhalten und weiterfahren mussten. Für die Verbindungen dieser einzelnen Stopps wählte der Quantencomputer die bestmögliche Route selbst aus, sodass alle Busse schnellstmöglich ans Ziel kommen. Die Bewegungsdaten aller Parameter werden dabei noch mit herkömmlichen Computern berechnet und etwa in einer Zeitspanne von fünf Minuten in die Zukunft vorausgedacht. Das klingt, gerade bei neun Bussen, gar nicht so komplex. Doch unser Algorithmus skaliert und kann quantitativ einen viel größeren Rahmen abdecken, wenn die Quantencomputer noch leistungsfähiger werden. Stellen Sie sich vor, Sie haben dann nicht nur neun Busse, sondern 1000 und mehr. Oder noch weiter gedacht: Wir könnten die Fahrzeit aller Fahrzeuge einer Stadt optimieren und Staus reduzieren. Wir arbeiten gerade an der nächsten Evolutionsstufe dieses Projekts.

„Wir versuchen dabei, die Anzahl so zu minimieren, dass der Fluss maximiert wird. Auch in einer extrem dicht befahrenen Stadt funktioniert dieses Prinzip.“

Sie haben dieses Projekt in Lissabon vorgestellt. Nun ist Lissabon eine charakteristische Stadt mit gewissen Merkmalen. Lässt sich Ihr Projekt beliebig auch auf andere Städte ausweiten? Oder genereller gefragt: Von welchen Parametern hängt die Funktionstüchtigkeit dieser Optimierungs-Anwendung überhaupt ab?

Das ist eine gute Frage! Tatsächlich ist es so, dass die Parameter eine sekundäre Rolle spielen. Nehmen wir als Beispiel eine Straße, die in die Stadt München hinein führt. Darauf ist eine Höchstgeschwindigkeit von maximal 50 km/h zugelassen. Ob die Straße zwei oder dreispurig ist, ist nicht von primärem Interesse, denn wir können mit unseren anonymisierten Bewegungsdaten sehen, ob viele Fahrzeuge 50 fahren oder nicht. Tun sie das nicht, nehmen wir an, dass der Verkehrsfluss nicht optimal ist. Diese Quantität, also die Anzahl der Fahrzeuge pro Streckenabschnitt, wollen wir optimieren. Wir versuchen dabei, die Anzahl so zu minimieren, dass der Fluss maximiert wird. Auch in einer extrem dicht befahrenen Stadt funktioniert dieses Prinzip. Was wir natür-

lich auch wissen müssen: Welche Alternativrouten gibt es? Dafür analysieren wir zuvor, was für mögliche Ausweichrouten es geben kann. Wir weisen jedem Fahrzeug eine Anzahl an möglichen Routen zu. In einer Stausituation ermitteln wir zudem, wie viele Fahrzeuge am besten umgeleitet werden müssen, damit der Fluss optimiert wird. Das vermeidet dann auch den klassischen Navigationssystemeffekt, bei dem alle Fahrzeuge dasselbe tun und dann wiederum neue Staus erzeugen.

Optimierungsverfahren sind sehr praxisbezogen. Wie ist das bei Machine Learning, dem vierten Bereich Ihres Quantencomputing-Teams?

Betrachten wir zum Beispiel ein neuronales Netz, das dafür bestimmt ist, das Fahrverhalten eines Fahrers zu spiegeln. Ich nehme dafür alles, was ein Fahrzeug über Kameras, Ultraschall und weitere Sensoren wahrnimmt, als Input, die X-Werte meiner Gleichung. Der zu prognostizierende Output, die y-Werte, ist dann das, was der Fahrer selbst tut. Wie bewegt er das Lenkrad? Wie tritt er aufs Gas, wie auf die Bremse? Der Algorithmus lernt, basierend auf den Umfelddaten, wie der Fahrer darauf reagiert. Für die enorme Datenmenge reichen unsere herkömmlichen Rechner nicht aus. Doch auch hier ist mithilfe größerer Rechenleistung, wie sie etwa ein verbesserter Quantencomputer in naher Zukunft verspricht, ein enormes Potenzial. Derzeit können wir Quantenalgorithmen für kleinere Netze finden, testen und optimieren. Wir können also den Usecase vorbereiten, indem wir einen Teilbereich des neuronalen Netzes betrachten, etwa 40 oder 50 Neuronen. Sobald die Quantenchips aber leistungsfähiger werden, können wir die Algorithmen nahezu linear hochskalieren auf größere Netze.

Da nun auch die Komponente Fahrer aufgetaucht ist und autonomes Fahren in der Automobilindustrie schon länger diskutiert wird, drängt sich die Frage nahezu auf, ob und wie Quantencomputing den Prozess zu autonomem Fahren begünstigen wird?

Jedes Machine Learning, darunter auch selbstfahrende Fahrzeuge, werden von Quantencomputing profitieren, indem wir diese Algorithmen schneller trainieren können. Wir werden den Quantencomputer wohl nicht im Fahrzeug selbst sehen, aber wir werden dessen Rechenleistungen anwendungsbezogen nutzen und die damit entstandene Technologie in Autos zum Einsatz bringen. Zudem werden wir aufgrund der Menge der Daten immer komplexere Algorithmen brauchen. Heutzutage muss ich mich immer annähern, um irgendwann ans Ziel zu kommen. Diese Näherungsverfahren sind stets ein Kompromiss hinsichtlich der Komplexität der Probleme. Die Hoffnung ist, in Zukunft mit größeren Quantencomputern, diese Annäherungen selbst zu verbessern und genauer zu machen. Die zwei Punkte zusammengefasst: Zum einen wollen wir schneller werden, zum anderen aber auch besser.

Quantencomputing ist ein globales Ansinnen. Auf welche Kooperationen akademischer, aber auch industrieller Art kann der Volkswagen-Konzern setzen? Wie wichtig sind Ihnen diese damit entstandenen Synergien gerade mit anderen Universitäten?

Starke Partnerschaften sind genauso wichtig, wie Talente auf der ganzen Welt zu suchen. Unser Volkswagen Standort in München ist zum Beispiel eng mit der LMU verwachsen und ermöglicht durch die geografische Nähe einen raschen Austausch. Selbiges trifft auf unsere Partnerschaft mit der Universität Berkeley in den USA zu. Universitäre Forschungseinrichtungen leisten beispielsweise viel in der Quantenchemie, wovon wir dann praxisbezogen profitieren.

Andererseits interessieren sich gerade Universitäten dann für die Ergebnisse in der industriellen Anwendung. Dadurch entsteht ein Zusammenspiel aus Theorie und Praxis, woraus beide Partner ihre Vorteile ziehen können.

Das jüngste Konjunkturpaket der Bundesregierung unterstützt Quantencomputing in Deutschland mit zwei Milliarden Euro. Wie wichtig ist die Etablierung eines Quantencomputing-Standortes in Deutschland, spricht

in Europa? Wie stehen wir gerade im internationalen Vergleich da?

Wir haben in Deutschland ein sehr gutes und kompetentes Forschungslevel. Außerdem interessieren sich immer mehr Unternehmen für Quantencomputing und beginnen damit, eigene Teams aufzubauen. Die zwei Milliarden seitens der Regierung sind ein großer und wichtiger Schritt, um die Anstrengungen auf nationaler Ebene voranzutreiben und einen Fokus auf die Anwendbarkeit der Ergebnisse zu legen. Ein Grund, warum wir als Land weiterhin Fortschritte machen müssen, ist die globale Konkurrenzsituation: Wer auch immer die Algorithmen zur Simulation von besseren Materialien entwickelt und Zugang zur nötigen Hardware hat, sie auszuführen, der hat eine bessere Industrie und damit einen Wettbewerbsvorteil. Ich bin auch aufgrund der Förderung zuversichtlich, dass Deutschland beim Quantencomputing ein relevanter Player wird im internationalen Vergleich.

Interview: Hannes Mittermaier

Dr. Florian Neukart

Dr. Florian Neukart ist Director des Volkswagen Data Lab und Assistenzprofessor für Quantum Computing an der Universität Leiden. Vor seiner jetzigen Tätigkeit war er Director und Gründer der Advanced Technologies Group bei der Volkswagen Group of America und CTO des Volkswagen Data Lab. Er leistete Beiträge zu den Bereichen Mathematik und Informatik, insbesondere in den Bereichen Optimierung, Quantum Computing und bioinspirierte Algorithmen. Florian hält ein Doktorat in Informatik der Universität von Brasov, sowie zusätzliche Abschlüsse in Informationstechnologie und Informatik und hat über 70 Publikationen verfasst, darunter Bücher über künstliche Intelligenz und Energie.



Fotos: Volkswagen AG