

WHITEPAPER · QUANTENCOMPUTING

QUANTENCOMPUTING: GAME CHANGER IN WARTEPOSITION

Quantencomputer versprechen eine technologische Revolution, doch ab 2026 könnte das Know-how aus Europa abwandern. **Warum Sie sich schon heute mit dieser Zukunftstechnologie beschäftigen sollten.**



”

„Entwickeln Sie Ihre Quantenstrategie, lernen Sie von Experten und Expertinnen und bewerten Sie die Realität und Anwendbarkeit dieser faszinierenden Technologie.“

LIEBE KUNDEN UND GESCHÄFTSPARTNER VON ATREUS

Wir stehen an der Schwelle einer technologischen Revolution: Quantencomputer versprechen ungeahnte Rechenleistungen und bisher unvorstellbare Anwendungen (nicht nur) in Bereichen wie Messtechnik, Bildgebung, Kommunikationssicherheit und hochkomplexen Berechnungen. Quantentechnologie gewinnt Nobelpreise. Und dank ihres Disruptionspotenzials gilt die Technologie schon seit Jahren als Game Changer in Warteposition. Doch obwohl sich die ganz frühen Early Adopter schon jetzt für einzelne Anwendungen begeistern, bleibt Quantentechnologie und insbesondere Quantencomputing im Business-Alltag vorerst noch Zukunftsmusik. Ihre Industrialisierung und die Entwicklung profitabler Anwendungsfelder werden noch Zeit brauchen.

Das birgt Risiken: Zwar hat sich in Deutschland und Europa in den vergangenen Jahren ein rasch wachsendes Ökosystem rund um Quantentechnologie entwickelt. Doch die Finanzierung durch europäische Forschungsgelder ist nur noch bis 2026 gesichert. Was passiert dann? Wird die europäische Industrie verstärkt die Rolle des Anschubfinanzierers übernehmen? Droht bei ausbleibender Refinanzierung eine Abwanderung des gesammelten Know-hows in die USA und nach China? Werden Investoren aus Nordamerika oder dem Nahen Osten deutsche Start-ups zu Schnäppchenpreisen aufkaufen? Das muss auf jeden Fall verhindert werden – weshalb die Industrie sich vermehrt mit Quantentechnologie auch dann beschäftigen sollte, wenn noch kein unmittelbarer Mehrwert für das Business erkennbar ist.

In diesem Whitepaper werfen wir daher einen Blick auf den aktuellen Stand der Quantentechnologie in Wissenschaft und Anwendung. Wir lassen einige der renommiertesten Expertinnen und Experten auf dem Gebiet des Quantencomputings zu Wort kommen und zeigen auf, wie Sie sich der Technologie schon heute nähern können. Denn die Frage ist nicht, ob Quantentechnologie kommt, sondern wann – und wem sie am Ende nützt.

Ich wünsche Ihnen eine inspirierende Lektüre!

DR. CHRISTIAN FRANK

Partner & Mitglied des Executive Board

WAS IST DRAN AM HYPE UM QUANTENCOMPUTING?



Quantentechnologie wird derzeit als Lösung für viele Probleme gehypt. Doch wie lange wird es dauern, bis Quantencomputer leistungsfähig genug sind, um komplexe wissenschaftliche, ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Herausforderungen zu bewältigen? Gibt es bereits Anwendungen, die einen echten Nutzen bieten?

Im Rahmen einer Innovationslounge von Atreus in Zusammenarbeit mit Fraunhofer arbeiteten Expertinnen und Experten aus angewandter Forschung und Praxis im Sommer 2023 heraus, wie Quantencomputing technisch funktioniert, woran aktuell geforscht wird und wie und wofür sich die Technologie in absehbarer Zeit nutzen lässt. Ein Überblick.

1. Quantencomputing: Riesiges Marktpotenzial, vielfältige Use Cases.

Quantencomputing ist eine der Technologien, die derzeit massiv gehypt, aber bisher noch kaum verstanden werden. Dr. Hannah Venzl leitet in der Fraunhofer-Zentrale die Abteilung Projektmanagement von Großvorhaben sowie die Geschäftsstelle des Fraunhofer-Kompetenznetzwerks Quantencomputing. Sie zeigt das enorme Marktpotenzial des Quantencomputings auf: Bis 2030 soll der Markt jährlich um mehr als 20 Prozent wachsen. Die Anwendungen sind vielfältig und reichen von der Entwicklung von Medikamenten und Impfstoffen über die Echtzeit-Erkennung von Kreditkartenbetrug bis hin zu komplexen Optimierungsproblemen in der Wirtschaft: Wie sieht die optimale Route für mich als Paketdienstleister aus? Wann muss das Flugzeug wo aufgetankt werden? Wie belade ich meine Schiffsflotte optimal?



DR. HANNAH VENZL,
Leiterin Geschäftsstelle Kompetenznetzwerk
Quantencomputing, Fraunhofer-Gesellschaft

2. Quantencomputing: Ein Sprung wie von Abakus zu PC.

Venzl zitiert den Nobelpreisträger Bill Philips. Vor Jahren sagte er bereits, dass ein Quantencomputer sich von einem klassischen Computer so stark unterscheidet wie dieser wiederum von einem Abakus. Venzl erklärt dies anhand der Blochkugel: Ein klassischer Computer arbeitet mit der kleinsten logischen Einheit „Bit“, die den Wert 0 oder 1 annehmen kann. Im Quantencomputing spricht man dagegen von Qubits, die ungleich komplexere Superpositionen einnehmen und auch miteinander verschränkt werden können. Bei der Blochkugel steht der oberste Punkt zum Beispiel für den Wert 1, während der unterste Punkt den Wert 0 annimmt. Der Quantencomputer kann aber – im Gegensatz zum binären Bit – jeden Punkt auf der Kugel annehmen. Daher ist der Quantencomputer exponentiell komplexer als der klassische Computer, wie wir ihn kennen.

3. Der Quantencomputer ist eine Diva.

Die Herausforderungen des Quantencomputings liegen in der hohen Komplexität von Herstellung und Betrieb. Es bedarf einer sehr speziellen Hardware und neuer Algorithmen, die einer völlig anderen Logik und einem neuen Rechenparadigma folgen und daher extrem teuer sind. Ein typischer Quantencomputer ist aufgrund der Kühlung und Kontrollelektronik sehr groß, der Chip selbst aber kaum größer als ein Daumennagel. Zudem benötigt Quantencomputing eine extrem niedrige Temperatur, oft von bis zum absoluten Nullpunkt von 0° Kelvin (-273,15° C). Die Fehleranfälligkeit ist noch relativ hoch und die Kohärenzzeiten, in denen die Quantenzustände stabil bleiben, sind sehr kurz. Aktuell existieren daher keine universellen Quantencomputer, sondern nur wenige physikalische Quantencomputer, die als NISQ (Noisy Intermediate Scale Quantum) bezeichnet werden. Bisher konnte jedoch kein Quantenvorteil nachgewiesen werden, der die Lösung realer Probleme effizienter als mit herkömmlichen Computern machen würde. Ein weiterer Engpass ist das erforderliche hochspezialisierte Expertenwissen.

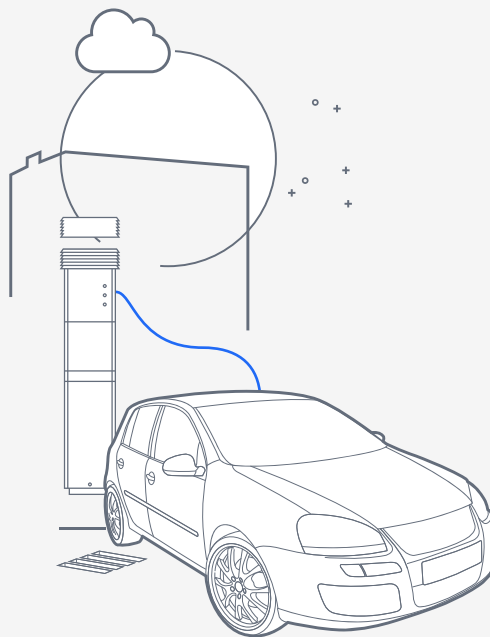


*„In den vergangenen Jahren ist im
Quantencomputing wahnsinnig viel passiert –
auch und gerade in Europa.“*

4.

Von 1982 bis heute: Entwicklung in Sprüngen.

Die Idee des Quantencomputers wurde erstmals vom Physiker Richard Feynman im Jahr 1982 formuliert, erklärt Dr. Florian Knäble, der am Fraunhofer IAO als Quanten-Softwareingenieur forscht. Feynman erkannte, dass die Natur im Grunde genommen ein riesiger Quantencomputer ist. In den rund 40 Jahren seit Feynmans These hat das Quantencomputing zwar immer wieder große Fortschritte gemacht, doch von einem massentauglichen Einsatz ist man heute noch meilenweit entfernt. Im Juni 2023 veröffentlichte IBM das Paper „Quantum Utility“, das zwar ein Problem aus der echten Welt adressierte, welches aber genau zum ausgewählten Quantencomputer passte. Dies war allerdings ein Fortschritt im Vergleich zum „Quantum Supremacy“-Moment, den Google 2019 für sich reklamierte. Mit einem Quantencomputer, der 53 Qubits verwendete, konnte Google damals zwar einen Quantenschaltkreis erstellen, aber das zu lösende Problem war theoretisch und sehr konstruiert.



5.

Ladestationen für E-Autos – nur eine Anwendung des Quantencomputings.

Knäble skizziert die Anwendungsfälle von Quantencomputing, an denen aktuell geforscht wird. Die Hoffnungen für die kommenden Jahre liegen auf Echtzeitlösungen, der Bewältigung bisher unlösbarer komplexer Probleme, dem Green Computing und genaueren Ergebnissen bei Simulationen. In der Energiewirtschaft könnte Quantencomputing beispielsweise helfen, die Anordnung und den Betrieb von Ladestationen für Elektroautos zu opti-

mieren – abhängig von der Anzahl der Fahrzeuge, den Aufenthaltszeiten und der benötigten Energie. Im Finanzbereich könnten Portfolioanalysen und Risikomodelle mithilfe von Quantencomputing optimiert werden, in der Logistik die Routenplanung, in der Produktion die Abläufe. Auch Cybersecurity könnte von der Technologie profitieren.



„In den rund 40 Jahren seit Feynmans These hat das Quantencomputing zwar immer wieder große Fortschritte gemacht, doch von einem massentauglichen Einsatz ist man heute noch meilenweit entfernt.“



DR. FLORIAN KNÄBLE,
Quanten-Softwareingenieur, Fraunhofer IAO

6.

Quantencomputer stehen noch ganz am Anfang.

Dr. Michael Förtsch ist Gründer und CEO des Start-ups Q.ANT, das neuartige Sensoren und photonische Computerchips mithilfe photonischer Quantentechnologie produziert. Licht spielt im Geschäftsmodell von Q.ANT also eine zentrale Rolle. Förtsch sagt: Aktuell sind wir noch weit entfernt von einer flächendeckenden Nutzung der Quantentechnologie. Derzeit interessieren sich nur ein elitärer Kreis mit hoher Zahlungsbereitschaft für die Technologie. „Ich habe wenig Hoffnung, dass wir in den nächsten zehn Jahren die Early Majority adressieren können.“ Aus heutiger Perspektive werde es noch sehr lange dauern, bis Quantencomputer für die breite Masse entwickelt werden können.



7.

Künstliche Intelligenz und Quantencomputing – eine Traumkombination?

Laut Förtsch gibt es beim Quantencomputing Analogien zu neuronalen Netzen, insbesondere bei den Algorithmen. Interessant sei dies bei Fragestellungen wie dem „Airport Gate Assigning Problem“ auf Flughäfen, bei dem es darum geht, wie schnell Passagiere an welche Stelle des Flughafens geleitet werden sollen. Zwar lasse sich das Problem mit einem Quantencomputer lösen, aber oft stelle sich die Frage, ob ein Informationstheoretiker es aktuell nicht noch schneller mit einem

klassischen Computer bewältigen könne. Die größten Potenziale ließen sich oft in einer Verbundarchitektur aus klassischen und Quantencomputern heben. Grundsätzlich, ergänzt Hannah Venzl, seien Fragen der Verkehrssteuerung aber immer interessante Optimierungsprobleme, die sich in Kombination von KI und QC gut lösen ließen.

8.

Europa hat international eine Chance im Quantencomputing.

Noch vor vier Jahren habe IBM den weltweit einzigen echten Quantencomputer besessen, sagt Hannah Venzl. Seitdem sei aber „wahnsinnig viel passiert“, nicht nur in den USA oder (vermutlich) in China, sondern auch in Europa. In Deutschland werde Quantencomputing derzeit sehr gut

gefördert. Dennoch seien die USA Europa weit voraus, weil dort das Risikokapital viel lockerer sitze. Wenn die öffentliche Förderung 2026 ausläuft, so die einhellige Meinung von Venzl und Förtsch, bestehe durchaus die Gefahr eines Ausverkaufs an US-amerikanische Unternehmen – und das trotz der wissenschaftlichen Vorreiterrolle Deutschlands im internationalen Vergleich. Förtsch appelliert daher, die Technologie zu unterstützen: „Unterstützen Sie Quantencomputing in Ihrer Kommunikation, wenn Sie darin eine Chance sehen!“



DR. MICHAEL FÖRTSCH,
Gründer und CEO, Q.ANT



„Aus heutiger Perspektive wird es noch sehr lange dauern, bis Quantencomputer für die breite Masse entwickelt werden können.“

INTERVIEW

QUANTENCOMPUTER KÖNNTEN IN ZEHN JAHREN IN DIE BREITE ANWENDUNG KOMMEN

Dr. Roman Wecker, Partner bei Heidrick & Struggles in Deutschland, im Gespräch mit Jan Götz, Gründer und CEO des deutsch-finnischen Start-ups IQM, das sich auf die Entwicklung von Quantencomputern spezialisiert hat. IQM gilt als einer der großen europäischen Hoffnungsträger im weltweiten Wettlauf um den ersten industriell nutzbaren Quantencomputer.*

DR. ROMAN WECKER: Herr Götz, Sie bauen in Finnland und am Leibniz-Rechenzentrum in München-Garching an ersten Quantencomputern. Was kann die Technologie bereits?

JAN GÖTZ: Ein großes Rechenzentrum ist heute immer noch schneller als die heutigen Quantencomputer. Wir arbeiten unter anderem in Garching in erster Linie an Proof-of-Concepts. Denn wenn wir Quantencomputer großflächig einsetzen wollen, müssen wir dafür erst einmal die Grundvoraussetzungen schaffen. Ich spreche in diesem Zusammenhang gern von Quantum Readiness: Es braucht die Kompetenzen in der Industrie, die Ausbildung der Talente, die Wertschöpfungsketten. Deshalb ist Garching für uns eine Art Leuchtturmprojekt. In München wird ein Quantencomputer stehen, und wir bauen das Ökosystem drum herum, von der Ausbildung über die Lieferketten bis hin zur Verwertung und den Use Cases. Das ist schon deshalb spannend, weil hier nicht einfach eine Gruppe von Forschern im



DR. ROMAN WECKER,
Partner Heidrick & Struggles



DR. JAN GÖTZ
Gründer und CEO des
deutsch-finnischen Start-ups IQM

Labor forscht, sondern wir konkrete Verträge mit Spezifikationen und Liefer-Milestones haben. Damit können wir als Firma eine gewisse Struktur aufbauen und uns auf die Zeit vorbereiten, in der Quantencomputer auch großflächig eingesetzt werden.

DR. ROMAN WECKER: Ziel Ihrer Forschungsgruppe ist die frühe Zusammenarbeit mit Anwendern. Wie müssen wir uns die Kooperation mit der Industrie im Detail vorstellen?

JAN GÖTZ: Die meisten unserer Mitarbeiter haben einen Dokortitel in Quantenphysik, aber noch nicht viel Industrieerfahrung. Das bedeutet: Wir müssen lernen, die Sprache der Industrie zu sprechen. Und umgekehrt muss die Industrie die Quantenphysik zumindest vom Konzept her verstehen. Im Moment verfolgen wir diverse Forschungsprojekte, die teils drittmittelgefördert sind. Gemeinsam mit der Industrie arbeiten wir an Konzepten, wie sich Quantencomputer nutzen lassen, sobald sie einen echten Geschäftsvorteil

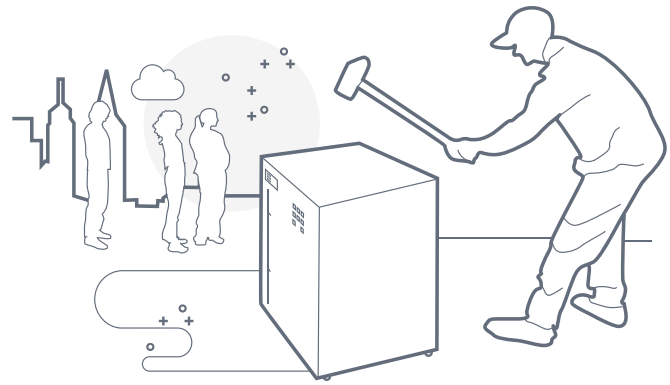
bieten – wenn sie also groß genug sind, um zum Beispiel bessere Düngemittel oder Solarzellen zu entwickeln oder CO₂-Emissionen zu reduzieren.

DR. ROMAN WECKER: Wann könnten Quantencomputer flächendeckend einsetzbar sein? Was können wir realistischerweise in, sagen wir, zehn Jahren von ihnen erwarten?

JAN GÖTZ: Das Versprechen von Quantencomputern ist, dass sie Probleme lösen können, die wir mit klassischen Computern nicht lösen können. Beispiel Medikamentenentwicklung: Es ist physikalisch unmöglich, das Penicillin-Molekül auf einem herkömmlichen Computer zu simulieren. Quantencomputer könnten dagegen viele Probleme lösen, auf die wir sonst nie eine Antwort bekommen würden. Das passiert natürlich nicht über Nacht. Wir sehen im Prinzip drei strategische Phasen: In der jetzigen Foundation Phase legen wir die Grundlagen, bringen die Industrie in die Startlöcher, entwickeln die Lieferketten, bauen die ersten Systeme. Irgendwann erreichen wir die Advantage Phase, in der ein Quantencomputer zum ersten Mal einen echten Geschäftsvorteil bringt. Und in vielleicht zehn Jahren folgt die Disruption Phase, in der Quantencomputer wirklich in die breite Anwendung kommen. Dann stehen wir vor Fragen, die wir heute in der klassischen Halbleiterindustrie sehen: Wie können wir die Preise senken, wie können wir miniaturisieren?

DR. ROMAN WECKER: Öffentlich wird oft darüber gesprochen, dass im Quantencomputing ein weltweiter Wettlauf um die Technologieführerschaft stattfindet. Was machen die großen Player, wo stehen die USA und China?

JAN GÖTZ: Natürlich sind wir nicht die Einzigen, die erkannt haben, dass man mit Quantencomputing tolle Sachen machen kann. Aber in Europa stehen wir vor einem Dilemma: Zwar interessieren sich viele Unternehmen für die Anwendung von Quantencomputern, aber kaum eine etablierte Firma beteiligt sich an der Entwicklung.



Weil es sich bei Quantencomputern allerdings um eine extrem strategische Technologie handelt, gibt es mittlerweile sehr viel Unterstützung von politischer Seite. Das Leibniz-Rechenzentrum wird vom Bundesforschungsministerium mit sehr viel Geld gefördert. Denn ohne Start-ups wird in Sachen Industrialisierung nicht viel passieren. Damit sie wachsen und zu globalen Playern werden können, brauchen sie Unterstützung. Nur ein Beispiel: Die ersten großen Aufträge für SpaceX kamen im Prinzip alle von der Regierung, über die NASA. Genau dieses Konzept verfolgen wir hier auch. Die Aufträge müssen in der frühen Risikophase von der Regierung gefördert werden. Nur dann schaffen wir es, in Europa große Technologiekonzerne aufzubauen, die mit IBM, Google oder Huawei mithalten können.

DR. ROMAN WECKER: Was bräuchten Sie noch, um das Thema erfolgreich nach vorne zu bringen?

JAN GÖTZ: Wenn Quantencomputer mal eine richtig große Industrie werden, braucht es natürlich das komplette Ökosystem. Wir brauchen also Unterstützung, um als anfangs kleiner Player zu wachsen und auch auf politischer Ebene Verhandlungsmacht zu entwickeln. Wenn heute in Berlin oder Brüssel Entscheidungen getroffen werden, sitzen die Start-ups oft noch nicht mit am Tisch. Da brauchen wir jede helfende Hand.

DR. ROMAN WECKER: Als Mitglied des Europäischen Innovationsrats haben Sie im Élysée-Palast vor Emmanuel Macron Ihre Pläne skizziert, damit wir in Sachen Deep Tech nicht von anderen

Wirtschaftsblöcken abgehängt werden. Was passiert derzeit auf EU-Ebene, um beim Quantencomputing und anderen Schlüsseltechnologien künftig eine führende Rolle zu spielen?

JAN GÖTZ: Wenn wir in Europa auch in Zukunft Wohlstand haben wollen, dann müssen wir ganz vorne bei der Technologieentwicklung mit dabei sein. Da hat aktuell ein Umdenken stattgefunden, um nicht die Fehler zu wiederholen, die zum Beispiel bei KI gemacht wurden. Aus meiner Sicht entstehen hier gerade extrem gute Strategien: Über den Europäischen Innovationsrat fördern wir Technologie-Start-ups zurzeit mit ungefähr zwei Milliarden Euro pro Jahr. Über eine Scale-up-Initiative läuft im Moment beispielsweise eine Ausschreibung, um weitere vier bis fünf Rechenzentren in Europa mit Quantencomputern auszustatten, darunter auch Start-ups. Und der European Chips Act bezieht auch Pilotlinien und Start-ups mit ein, sodass wir die Lieferketten und die Infrastruktur aufbauen können. In der Vergangenheit haben wir zwischen den EU-Staaten, aber auch innerhalb Deutschlands, zu oft Standort A gegen Standort B ausgespielt. Aber nur wenn wir alle an einem Strang ziehen, können wir mit einem europäischen Projekt international wettbewerbsfähig sein.

DR. ROMAN WECKER: Lieber Herr Götz, herzlichen Dank für das Gespräch.

* Dieses Interview erschien erstmals im [Podcast Heidrick Talks](#).



DAS LEISTUNGSSPEKTRUM VON ATREUS IM BEREICH QUANTENCOMPUTING

Die Quantentechnologie ist eine der vielversprechendsten Technologien der Zukunft. In diesem Whitepaper haben wir Ihnen einige der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten vorgestellt. Wir stehen noch ganz am Anfang. Dennoch brauchen wir schon heute unternehmerischen Mut, um diese Technologie voranzutreiben – Investoren, Entwicklungs- und Industriepartner, die einen langen Atem haben und nicht nach ein paar Jahren die Lust verlieren.

WIE ATREUS SIE IM BEREICH QUANTENCOMPUTING UNTERSTÜTZT

STRATEGISCHE AUSRICHTUNG

Entwicklung von Strategien für die Umsetzung von Projekten im Bereich der Quantentechnologie, zum Beispiel

01

- Suche nach Markt- oder Kundenanwendungen
- Marktpotenzialerfassung
- Herausarbeitung von Nutzen- und Kundenversprechen
- Brückenbau zwischen Technologie und Anwender (Markt) durch Vermittlung zwischen Entwickler/Forschung und kommerzieller Seite

PROJEKTMANAGEMENT

zum Beispiel

02

- Aufsetzen von (Entwicklungs-)Projekten
- Aufsetzen und Orchestrieren von Teams
- Monitoring von Fortschritt bzw. Meilensteinen

ENTWICKLUNG/UMSETZUNG USE CASES

zum Beispiel

03

- Auswahl von Use Cases
- Methodische Unterstützung bei der Priorisierung geeigneter Use Cases
- Entwicklung von Finanzplanungen und Business-Plänen

PARTNERSCHAFTEN

zum Beispiel

04

- Suche nach geeigneten Industriepartnern
- Identifizierung von Partnerschaftsmöglichkeiten
- Ansprache von Industrie- und Entwicklungspartnern
- Beantragung von Fördergeldern (private und public)



DR. CHRISTIAN FRANK,
Partner & Mitglied des Executive Board
christian.frank@atreus.de
Tel.: +49 89 45 22 49-180

WIR GESTALTEN ERFOLG

DR. CHRISTIAN FRANK, MITGLIED DES EXECUTIVE BOARD, ATREUS

Sein Fokus sind Projekte und Programme in den Bereichen Restrukturierung und organisatorische Neuausrichtung, Change und Performance-Management, M&A, Post Merger Integration und die interimistische Besetzung von Topmanagement-Positionen. Dabei befasst er sich vorrangig mit der Investitionsgüter-/ High-Tech-Industrie, Professional Services sowie der Bau-, Bauzuliefer- und Werkzeugindustrie. Herr Dr. Frank verfügt über mehr als 20 Jahre Erfahrung in General und Change Management, Restrukturierung, Transformations- und Performance-Management. Vor seiner Tätigkeit für Atreus bekleidete er mehrere Senior-Management-Positionen bei führenden global agierenden Beratungs- und High-Tech-Unternehmen.

ZUM NEUNTEN MAL IN FOLGE IST ATREUS BESTER BERATER AM MARKT

„Wir freuen uns sehr über die erneute Spitzenposition und die überaus positiven Rückmeldungen, speziell über die unserer Kunden. Das zeigt, dass unsere Beratungs- und Umsetzungsexpertise am Markt deutlich wahrgenommen wird. Zudem bestätigt es uns darin, der gestiegenen Nachfrage nach Interim Mandaten auf Transformations- und Restrukturierungsebene in allen Industriebereichen in unserer gewohnt hohen Qualität und Passgenauigkeit auch in Zukunft Rechnung zu tragen.“



ATREUS IST VIELFACH AUSGEZEICHNET

Automotive, Change Management, Chemie & Pharma, Digitalisierung, Handel inkl. E-Commerce, Human Resources, IT-Beratung & IT-Implementierung, Interim Management, Konsumgüter, Life Science, Maschinen- und Anlagenbau, Operations Management, Performance Improvement, Personalberatung, Restrukturierung

Atreus GmbH
Landshuter Allee 8
80637 München
Deutschland
Tel.: +49 89 452249-0
kontakt@atreus.de

atreus.de