

Innovationspotenziale der Quantentechnolo- gien der zweiten Generation

Henning Kagermann, Florian Süßen-
guth, Jorg Körner, Annka Liepold



Die **Quantenphysik** wurde vor knapp 120 Jahren unter anderen durch Max Planck und Albert Einstein begründet. Ihre Erkenntnisse erlaubten eine deutlich genauere Beschreibung des Verhaltens von Licht und Materie in (sub-)atomaren Maßstäben. Dies schuf die **theoretische Basis** für weite Teile der **modernen Physik**.

Mit dem Laser, der Magnetresonanztomografie und Halbleitern prägen Technologien auf Basis der Quantenphysik bereits seit über einem halben Jahrhundert unser Leben. Mit den **Quantentechnologien der zweiten Generation** steht nun eine **Welle neuartiger Anwendungen** bevor, die gezielt quantenmechanische Effekte bei einzelnen oder wenigen Teilchen präzise kontrollieren.

Die aktuell meistdiskutierte neue Anwendung ist der **Quantencomputer**. Ihm wird das größte disruptive Potenzial zugesprochen. Es wird erwartet, dass er manche Probleme lösen kann, an denen heutige Supercomputer scheitern. Beispiele hierfür sind die Routenoptimierung autonomer Fahrzeugflotten zur Verringerung von Emissionen und Reisezeiten oder auch das Entschlüsseln chiffrierter Daten. Allerdings rechnen die meisten der befragten Expertinnen und Experten mit praktikabel einsetzbaren Quantencomputern erst **in voraussichtlich 5 bis 15 Jahren**.

Quantensimulatoren, eine Art analoge Quantencomputer, könnten bereits früher für die Lösung konkreter Probleme von Anwenderinnen und Anwendern eingesetzt werden. Mit ihnen lassen sich beispielsweise das chemische **Verhalten potenzieller medizinischer Wirkstoffe** modellieren sowie **neuartige Materialien** für effizientere Batterien oder energiesparendere Katalysatoren für chemische Prozesse designen.

Die Ausnutzung von Quanteneffekten erlaubt die Konstruktion physikalisch abhörsicherer Kommunikationsverbindungen. Eine

solche **Quantenkommunikation** kann daher ein Baustein zukünftiger IT-Sicherheitsarchitekturen sein. Zudem werden aktuell **neue Formen der Verschlüsselung** entwickelt und geprüft, die auch durch einen Quantencomputer nicht gebrochen werden können.

Nicht zuletzt erlauben die Fortschritte in der Forschung die Entwicklung leistungsfähigerer **Sensoren, bildgebender Verfahren und Messinstrumente**. Mit ihnen könnten beispielsweise Hirnströme genauer erfasst, das Spektrum der Mikroskopie erweitert oder auch anhand von Schwankungen des Schwerkraftfelds unterirdische Strukturen vermessen werden.

Alle Quantentechnologien der zweiten Generation beruhen auf spezialisierten Komponenten wie Lichtquellen, Kühltechnik oder Halbleitern. Die **praktische Einsetzbarkeit** der neuen Quantentechnologien außerhalb der Labore hängt entscheidend davon ab, ob es gelingt, diese **Basistechnologien günstiger, robuster, kleiner** und damit in für die Anwenderinnen und Anwender attraktive Systeme integrierbar zu machen.

Die Reifegrade der beschriebenen Quantentechnologiefelder sind unterschiedlich ausgeprägt, insgesamt befinden sie sich aber alle noch in einem **frühen Stadium**. Gewinne werden mit ihnen noch nicht erwirtschaftet und sie haben auch noch **keine ausgereiften Wertschöpfungsketten** gebildet. Die Forschenden und Unternehmen arbeiten gegenwärtig vor allem an Nachweisen der prinzipiellen Umsetzbarkeit der Erkenntnisse aus den Laboren in praxistaugliche Anwendungen. Über **Experimente, Wettbewerbe und Kleinserien** loten sie aus, in welchen Anwendungsszenarien sich die erwarteten Vorteile der Quantentechnologien tatsächlich realisieren lassen.

Mit ihren frühen Investitionen verfolgen Unternehmen und auch Staaten daher **kein kurzfristiges Gewinninteresse**. Sie versuchen vielmehr, **auf lange Sicht einen großen Kompetenzvorsprung**



Gut	●	●			
Mittel			●		●
Schlecht				●	
	Basistechnologien	Quantensensorik/ Quantenimaging/ Quantenmetrologie	Quantenkommunikation und -kryptografie	Quantencomputing	Quantensimulatoren

Gegenwärtige Position Deutschlands bei der Kommerzialisierung von Quantentechnologien im internationalen Vergleich (Quelle: eigene Darstellung)

bei Schlüsseltechnologien in vielen für Deutschland und Europa hochrelevanten Wirtschaftszweigen und Industrien aufzubauen. Hinsichtlich der **gegenwärtigen Position Deutschlands** in diesem internationalen Wettbewerb zeichnen die für den vorliegenden Impuls durchgeführten Analysen und Experteninterviews ein gemischtes Bild (siehe Abbildung „Gegenwärtige Position Deutschlands“).

Die folgenden **zehn Kernthesen** fassen die zentralen Erkenntnisse der durchgeführten Bestandsaufnahme und die Einschätzung der möglichen Entwicklungspfade zusammen. Daraus werden Schlussfolgerungen für eine mögliche **weitere Positionierung Deutschlands** abgeleitet:

1. Die **deutsche Quantenforschung** an Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen hat eine lange Tradition und ist international **hoch angesehen**. Diese Stärke kann gezielt durch verstetigte **strategische Kooperationen** mit führenden Standorten innerhalb der EU und **weltweit** weiter ausgebaut werden. An vielen von diesen sind bereits heute Deutsche in Forschung und Entwicklung tätig, die hierfür aktiviert werden könnten.
2. Es gilt, **erfahrene Fachkräfte** durch **Weiterbildungen** „quantum-ready“ zu machen. Die **nächste Generation** Studierender, aber auch Auszubildender, beispielsweise in der Feinoptik, gilt es durch die Anpassung bestehender

Angebote und neue Studiengänge zu **„Quantum Natives“** zu machen. **Internationale Forschende** benötigen bessere **Karriere- und Bleibeperspektiven in Deutschland**, insbesondere nach der Promotion.

3. Die **Kommerzialisierung** von Quantentechnologien erfordert einen **längeren Atem**, um einen „Quanten-Winter“ (analog zu früheren KI-Wintern) zu vermeiden. Eine langfristige Fortsetzung und **Weiterentwicklung** der deutschen und europäischen Fördermaßnahmen und Strategieprozesse sind nicht nur für die Forschungseinrichtungen entscheidend, sondern können zudem das **Engagement der deutschen Unternehmen** auch während einer Phase schwacher Konjunktur aufrechterhalten.
4. **Grundlagen- und angewandte Forschung** müssen in diesem noch jungen Feld **enger als üblich zusammenarbeiten**. Dies erfordert nicht nur die wechselseitige Öffnung der Physik, der Ingenieurwissenschaften und weiterer Disziplinen für die jeweils anderen Fachkulturen. Es bedarf auch einer **frühzeitigen Einbindung der Wirtschaft**. Hierfür ist ein entsprechender unterstützter Kompetenz- und Erfahrungsaufbau notwendig.
5. Für alle Quantentechnologien der zweiten Generation gibt es in Deutschland eine **große Zahl potenzieller Anwender** aus vielen unterschiedlichen Branchen, für die



Quantentechnologien einen logischen nächsten Qualitätsschritt darstellen können und die **zugleich attraktive Kooperationspartner für die Hersteller** entsprechender Anwendungen aus dem In- und Ausland sind.

6. Die **Vernetzung** der für sich jeweils oft sehr guten Forschenden, der ersten im Feld aktiven Unternehmen und auch der potenziellen Anwender zu einem **schlagkräftigen deutschen Ökosystem** steht bei den Quantentechnologien der zweiten Generation **noch am Anfang**. In der Folge **mangelt** es im internationalen Vergleich oft an **Koordination, Geschwindigkeit** und **kritischer Masse**.
7. Insbesondere bei den **Basistechnologien** und der quantenbasierten **Sensorik, Bildgebung und Metrologie** hat Deutschland eine **sehr gute Ausgangsposition**. Die Bereitstellung von **Produktions-, Test- und Validierungsumgebungen** kann KMU und Start-ups insbesondere bei Basiskomponenten und bei der Quantensensorik den Einstieg erleichtern. Im Bereich der Quantenkommunikation kann der **Staat als Vorreiter** Vertrauen in die Technologie schaffen und auf die Schaffung von Zertifizierungsmöglichkeiten und Standards hinwirken.
8. Die meisten befragten Expertinnen und Experten sehen das **eigentliche Wertschöpfungspotenzial des Quantencomputers** nicht in der Hardware, sondern in der durch ihn ermöglichten nächsten Digitalisierungswelle in seinen Einsatzgebieten. Um die dafür nötigen **Algorithmen und Programme** zu entwickeln, benötigen deutsche Unternehmen und Forschende einen möglichst umfassenden, kontinuierlichen **Zugang zu Quantencomputing-Plattformen**, idealerweise bis hinunter zur Hardwareebene.
9. **Technologische Souveränität** im Quantencomputing kann Deutschland aber nur durch einen **deutschen oder zumindest europäischen Quantencomputerhersteller** erreichen. Selbiges gilt für den Aufbau eigener Kapazitäten in der Quantenkommunikation.
10. Der Einstieg in den **Aufbau europäischer Quantencomputing-Hardwarekapazitäten** würde vielen Befragten zufolge die schnelle **Koordination** der bestehenden Kompetenzen und Infrastrukturen sowie einen baldigen **Schulterschluss mit anderen führenden EU-Staaten**, insbesondere Frankreich, den Niederlanden und Österreich, voraussetzen.



Quantentechnologien der zweiten Generation

Allgemeines Stärken- und Schwächenprofil Deutschlands

Stärken

- Herausragende universitäre und außeruniversitäre Forschungsinstitutionen mit guten technischen Möglichkeiten und Infrastrukturen
- Gut ausgebildete und aktuell in ausreichender Zahl verfügbare Fachkräfte
- Viele potenzielle Anwender aus unterschiedlichen Branchen in räumlicher Nähe zu Forschungs- und Entwicklungsstandorten und potenziellen Start-ups
- Erhöhte Aufmerksamkeit in Politik und Wirtschaft

Schwächen

- Unzureichende Vernetzung zwischen den einzelnen Wissenschafts-Communities
- Erst in Ansätzen Schwerpunktbildung zur Erreichung kritischer Masse an Akteuren und Kompetenzen für erfolgreichen Transfer
- Oftmals fehlende Konzepte zur Nutzung/Industrialisierung von Forschungsergebnissen
- Transfer hemmendes Anreizsystem der Wissenschaft
- Wenige große Unternehmen mit signifikanten Investitionen in neue Quantentechnologien
- Geringe Gründungsaktivität, unter anderem aufgrund Wagniskapitalmangels sowie unzureichender Fördersummen für „Deep Tech“-Gründungen
- Niedrige Zahl an Patentanmeldungen

Chancen

- Vernetzung der bislang verstreuten Kompetenzen in Wissenschaft und Wirtschaft zu einem Quantentechnologie-Ökosystem
- Fortsetzung kontinuierlicher und langfristiger Forschungsförderung begleitend zum Aufwachsen erster Märkte
- Sicherstellung einer breiten Fachkräftebasis durch schnell etablierte Aus- und Weiterbildungsangebote
- Staat als Vorreiter, zum Beispiel über innovative Beschaffung
- Früher Abgleich der Bedarfe der deutschen Industrie und der Leistungsprofile neuer Quantentechnologien
- Führende Entwicklung von Software und Dienstleistungen durch Nähe und enge Kooperation mit potenziellen Anwendern

Risiken

- Verpassen einer internationalen Spitzenposition und Gefährdung technologischer Souveränität aufgrund unzureichender Bündelung relevanter Akteure für den Transfer zur Marktreife
- Zu kurze Zeithorizonte oder zu früher Abbruch von Fördermaßnahmen (zum Beispiel „Quanten-Winter“ als Folge enttäuschter, durch Hype übersteigelter Erwartungen)
- Hürden für europäische Anbieter durch starke Patente, (De-facto-)Normen und Standards aus China und USA
- Abwanderung von Wertschöpfung und Fachkräften in Ausland mit schneller reifenden Ökosystemen



Basistechnologien

Stärken- und Schwächenprofil Deutschlands

Stärken

- KMU-Basis mit Fokus auf Enabling Technologies (in Photonik, Mikroelektronik, Mikroskopie)
- Gute Verfügbarkeit spezialisierter Laborausstattung und von Komponenten aus Deutschland/Europa, die in Spitzenforschung benötigt werden
- Fundierte Erfahrung deutscher Industrie und Forschungseinrichtungen bei für Kommerzialisierung entscheidenden Prozessen wie Miniaturisierung und Systemintegration von Komponenten

Schwächen

- Noch sehr vom akademischen Markt abhängige Nachfrage
- Geringe Verfügbarkeit von Komponenten, die ohne weiteren Entwicklungsaufwand bereits alle Anforderungen für den Einsatz außerhalb des Labors erfüllen
- Kleine Firmengrößen und Förderstrukturen als Hürden für eigene Entwicklungsaktivitäten

Chancen

- Gute Ausgangslage zur Besetzung von Schlüsselstellen in internationalen Wertschöpfungsketten
- Bereitstellung von Produktions- und Testumgebungen für KMU und Startups
- Erhalt der technologischen Souveränität bei zentralen Komponenten
- Spill-over-Effekte bei Komponentenentwicklungen in angrenzende Technologiebereiche

Risiken

- Abhängigkeiten von Importen bei einzelnen Komponenten (zum Beispiel aktuell von China bei nicht-linearen Kristallen)
- Ungelöstes „Henne-Ei-Problem“ bei Marktentwicklung: ohne Komponenten keine Produzenten neuer Quantentechnologien, ohne Produzenten keine Nachfrage nach Komponenten beziehungsweise Komponentenentwicklung
- Verlust akademischer Wissensbasis durch mangelnde Verankerung in Forschungseinrichtungen (zum Beispiel Kühltechnik, Kristallzucht)



Quantensensorik, Quantenimaging und Quantenmetrologie

Stärken- und Schwächenprofil Deutschlands

Stärken

- Beginnende Exploration der Einsatz/Kommerzialisierungspotenziale durch industrielle Anbieter (unter anderem durch Ausgründungen, interne Teams, Wettbewerbe)
- Starke Firmenbasis in Photonik, Mikroelektronik, Mikroskopie, Medizintechnik und Sensorik
- Hohe Kompetenzen in Metrologie sowie Sensorik in Luft- und Raumfahrt

Schwächen

- Verhaltene Nachfrage der deutschen Industrie nach ersten verfügbaren Produkten
- Fokus von Forschung und Entwicklung oftmals auf prinzipieller Machbarkeit, weniger auf von Anwendern geforderten Leistungsprofilen

Chancen

- Erhalt der Leitanbieterschaft in leistungsstarken, hochpreisigen Marktsegmenten durch schnellen Transfer (zum Beispiel über Verbundprojekte, praxisorientierte Testräume, Wettbewerbe)
- Erschließung sekundärer Wertschöpfungspotenziale durch frühzeitigen Einsatz in für Deutschland wichtigen Branchen (zum Beispiel Bau, Medizintechnik und IKT)
- Zeitnahe Demonstration des konkreten Mehrwerts neuer Quantentechnologien für die Menschen, etwa im Bereich der Medizin

Risiken

- Förderung von Entwicklung vorbei an tatsächlichen Bedarfen potenzieller Anwender
- Abwanderung von Wertschöpfung und Fachkräften aufgrund mangelnder Risikobereitschaft deutscher Unternehmen bei der Erprobung früher Anwendungen
- Unterschätzung der marktwirtschaftlichen Relevanz des Quantentechnologiefelds Sensorik, Imaging und Metrologie durch zu starken Fokus auf Quantencomputing



Quantenkommunikation und Quantenkryptografie

Stärken- und Schwächenprofil Deutschlands

Stärken

- Gut ausgestattete Konsortien zum Aufbau einer Quantenkommunikationsinfrastruktur
- Engagement deutscher Akteure bei der gegenwärtigen Entwicklung internationaler Standards und Normen für Post-Quanten-Kryptografie

Schwächen

- Zögerliche Nutzung erster Anwendungen, unter anderem durch das Fehlen etablierter Standards und Zertifizierungsmöglichkeiten
- Rückstand bei ambitionierten Infrastrukturprojekten (vor allem im Vergleich zu China)

Chancen

- Entwicklung eines marktreifen Quantenrepeaters als Schlüsselkomponente in der Wertschöpfungskette
- Staat als Vorreiter, zum Beispiel bei der Beschaffung, um auf höhere Sicherheitsstandards für Bürgerinnen und Bürger sowie Unternehmen hinzuwirken

Risiken

- Verlust technologischer Souveränität bei Angewiesenheit auf nicht-europäische Ausrüster
- Unzureichende oder überzogene Investitionen aufgrund hoher Unklarheit über zu erwartende Größe und Relevanz des Quantenkommunikationsmarktes
- Etablierung heterogener nationaler statt international einheitlicher Standards (vor allem in China)
- Patentierung zentraler Post-Quanten-Kryptografieverfahren (aktuell: frei nutzbare Verfahren)



Quantencomputing

Stärken- und Schwächenprofil Deutschlands

Stärken

- Viele international tätige deutsche Spitzenforschernde/Spitzenforschende mit deutscher Ausbildung
- International konkurrenzfähige Grundlagenforschung zu allen aktuell erprobten technologischen Plattformen für Quantencomputer sowie Quanteninformationstheorie
- Interesse führender deutscher Großunternehmen (zum Beispiel aus Automobil-, Chemie-, Pharmaindustrie, Finanzbranche) an Anwendungsmöglichkeiten

Schwächen

- Keine Quantencomputing-Hardwareentwicklung in Deutschland
- Kein uneingeschränkter Hardwarezugang bei Kooperationen mit ausländischen Herstellern von Quantencomputern
- Keine mit Google, IBM oder Microsoft vergleichbaren Investitionen der deutschen Wirtschaft

Chancen

- Bündelung bestehender Kompetenzen zur Schaffung deutscher/europäischer Hardwarebasis
- Sicherstellung einer öffentlich für Wissenschaft und Unternehmen zugänglichen Quantencomputing-Plattform
- Aufbau von Kompetenzen durch Kooperationen deutscher Akteure mit internationalen Vorreiterunternehmen an Standorten innerhalb Deutschlands
- Dauerhafte Wettbewerbsvorteile für First-Mover-Anwender
- Führende Entwicklung von Software und Dienstleistungen durch Nähe und enge Kooperation mit potenziellen Anwendern

Risiken

- Verlust technologischer Souveränität ohne deutschen/europäischen Quantencomputer
- Verwundbarkeit zukünftiger quantencomputerbasierter Wertschöpfungsketten durch gefährdeten Zugang zu deren Hardwarebasis, beispielsweise in der Finanzwirtschaft sowie in der Chemie-, Pharma-, Logistik- oder Automobilindustrie
- Nachteile bei Softwareentwicklung ohne direkten Zugang zur Hardware
- De-facto-Standardsetzung vor allem durch US-amerikanische Großunternehmen
- Abwandern der Spitzenkräfte



Quantensimulatoren

Stärken- und Schwächenprofil Deutschlands

Stärken

- Viele deutsche Spitzenforschende
- Einsatzmöglichkeiten für führende deutsche Großunternehmen höchst relevant (zum Beispiel in der Automobil-, Chemie-, Pharmaindustrie)

Schwächen

- Keine Ausgründungen oder Angebote bestehender deutscher Unternehmen
- Wenig Wissen über Einsatzmöglichkeiten bei potenziellen Anwendern

Chancen

- Auch international noch keine Kommerzialisierungsaktivitäten: First-Mover-Advantage für deutsche Unternehmen und Startups noch erreichbar
- Wettbewerbsvorteil durch frühe Nutzung in vielen für Deutschland relevanten Branchen

Risiken

- Möglicherweise bei Realisierung des Quantencomputers obsolet; Zeithorizont hierbei unklar
- Quantenvorteil bislang noch nicht für wirtschaftlich relevante Fragestellungen bewiesen, Zeithorizont dafür ebenfalls unklar
- Verdrängung kleiner spezialisierter Anbieter durch schnelles Umsatteln der im Quantencomputing aktiven Großunternehmen, sobald Quantensimulation kommerziell interessant wird



acatech IMPULS Innovationspotenziale der Quantentechnologien der zweiten Generation

Der acatech IMPULS zu den Innovationspotenzialen der Quantentechnologien der zweiten Generation basiert auf der Auswertung der aktuellen Fachliteratur sowie Experteninterviews mit 95 Vertreterinnen und Vertretern aus Wissenschaft und Wirtschaft. Die Interviews wurden im Zeitraum von Juni bis Oktober 2019 geführt. Das Ziel war es, ein aktuelles Stimmungsbild aus der Forschung und der Quantentechnologie-Branche zu erhalten. Einerseits wurde nach den wichtigsten Trends in den relevanten

Forschungsfeldern und ihrer Überführung in konkrete Innovationen gefragt, andererseits sollten die Attraktivität des Standortes Deutschland und der Reifegrad seines Quantentechnologie-Ökosystems sowie der weltweite Entwicklungsstand der einzelnen Quantentechnologiefelder bewertet werden. Schließlich wurde gefragt, mit welchen Maßnahmen die Innovationspotenziale der Quantentechnologien der zweiten Generation am besten gehoben werden könnten.

Gesamtleitung

- Prof. Dr. Henning Kagermann, Vorsitzender des acatech Kuratoriums

Inhaltliche Mitarbeit

- Dr. Reinhard Ploss, Infineon Technologies AG
- Prof. Dr. Martin Stratmann, Max-Planck-Gesellschaft

Inhaltliche Begleitung und Review

- Prof. Dr. Dr. Andreas Barner, Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft
- Dr. Martin Bruder Müller, BASF SE
- Gabi Grützner, micro resist technology GmbH
- Prof. Dr. Jörg Hacker, Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina
- Prof. Dietmar Harhoff, Ph. D., Max-Planck-Institut für Innovation und Wettbewerb
- Reiner Hoffmann, Deutscher Gewerkschaftsbund
- Dr. Marion Jung, ChromoTek GmbH
- Prof. Dr. Anke Kayser-Pyzalla, Technische Universität Braunschweig
- Prof. Dr. Renate Köcher, Institut für Demoskopie Allensbach
- Harald Krüger, BMW AG
- Prof. Dr. Reimund Neugebauer, Fraunhofer-Gesellschaft
- Prof. Dr. Günther Schuh, e.GO Mobile AG
- Stefan Vilsmeier, Brainlab AG
- Dr. Anna-Katharina Wittenstein, Wittenstein SE

Redaktionelle Mitarbeit

- Dr. Christoph Ettl, Max-Planck-Gesellschaft
- Dr. Tim Gutheit, Infineon Technologies AG

Konzeption, Text und Interviews

- Florian Süssenguth, acatech Geschäftsstelle
- Dr. Jorg Körner, acatech Geschäftsstelle
- Dr. Anka Liepold, acatech Geschäftsstelle

Mit Unterstützung durch

- Dr. Patrick Pfister, acatech Geschäftsstelle
- Jan Fischer, acatech Geschäftsstelle
- Stefan John, acatech Geschäftsstelle
- Silke Liebscher, acatech Geschäftsstelle
- Elisabeth Paul, acatech Geschäftsstelle

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 16PLI7003 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Autorinnen/Autoren:

Prof. Dr. Henning Kagermann, Vorsitzender des acatech Kuratoriums

Florian Süssenguth, acatech Geschäftsstelle

Dr. Jorg Körner, acatech Geschäftsstelle

Dr. Anka Liepold, acatech Geschäftsstelle

Reihenherausgeber: acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2020

Geschäftsstelle

Karolinenplatz 4

80333 München

T +49 (0)89/52 03 09-0

F +49 (0)89/52 03 09-900

Hauptstadtbüro

Pariser Platz 4a

10117 Berlin

T +49 (0)30/2 06 30 96-0

F +49 (0)30/2 06 30 96-11

Brüssel-Büro

Rue d'Egmont/Egmontstraat 13

1000 Brüssel (Belgien)

T +32 (0)2/2 13 81-80

F +32 (0)2/2 13 81-89

www.acatech.de

info@acatech.de