

IT HERAUSFORDERUNGEN UND CHANCEN DURCH QUANENTECHNOLOGIEN

IT Kongress Neu Ulm

Prof. Kai Bongs
Institutsdirektor QT

DLR-Institut für Quantentechnologien
Wilhelm Runge Straße 10
89081 Ulm

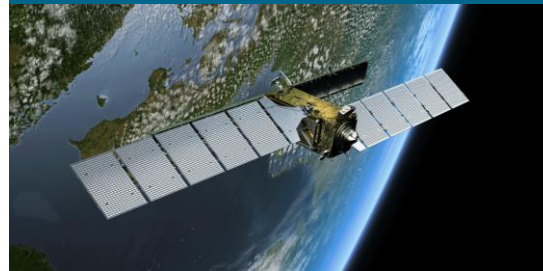


Research Center + Space Agency + Project Management

AERONAUTICS



SPACE



ENERGY



TRANSPORT



SECURITY

civil security & defence research



DIGITALISATION, QUANTUM TECHNOLOGY
AND SYSTEM MODELLING



- Europe's largest research centre for aeronautics and space
- Close cooperation with academia, research, business and industry
- BMWK is the primary funding ministry, BMVg provides institutional funding, BMI, BMU and others provide project funding

DLR sites



- **54 institutes and facilities across 30 sites**
 - 8 research stations
 - 4 international offices
- **More than 10.000 employees**
 - ~ 5.800 Scientific Staff
- **Budget: ~ 1.100 Mio. € (2021)**
 - ~ 550 Mio. Third-Party Funding



DLR in Ulm



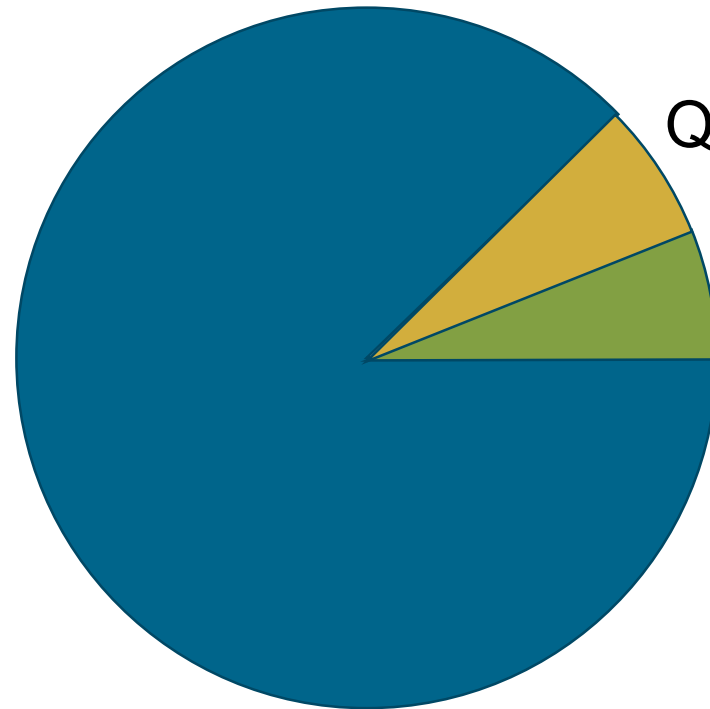
- Institut für Quantentechnologien (DLR QT) – Quantentechnologie zum Einsatz bringen
- Institut für Künstliche Intelligenz (DLR KI) – Anwendungen und Sicherheit
- Institut für Technische Thermodynamik (DLR TT) – Batterieforschung und Brennstoffzellen
- Quantencomputing-Initiative (DLR QCI) – Industriaufträge Quantencomputer und -anwendungen

Quantum Technology Applications and Markets



Market estimates in 2040 (source: McKinsey Quantum Technology Monitor, 2023)

Quantum Computing (\$9-\$93B)



Quantum Communications (\$1-\$7B)

Quantum Sensing (\$1-\$6B)

Overall economic impact much larger (e.g. estimate for QC in 2035: \$620B-\$1270B)

Womit müssen Sie rechnen?

- Quantencomputer lösen **bestimmte** ungelöste Probleme (Logistik, chemische Reaktionen, Datenbanksuche,...)
- Quantencomputer knacken gängige Verschlüsselungsverfahren (→ Post-Quantum Kryptographie **JETZT**)

- Quantennetzwerke bieten physikalisch garantierte Sicherheit
- Quantensensoren eröffnen neue hochwertige Datenquellen
- Quantenuhren sichern die „Ressource Zeit“ für eine innovative Wirtschaft (Kommunikation, Industrie 4.0, Autonomie, energieeffiziente Rechenzentren)

Quantentechnologie – wie es begann

1900: Beschreibung der Strahlung heißer Objekte



Planck Postulat: Elektromagnetische Energie kann nur in quantisierter Form emittiert werden.

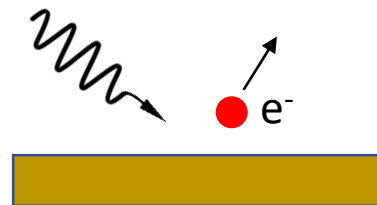
$$E = h \nu$$

Quantentechnologie – wie es begann

1900: Beschreibung der Strahlung heißer Objekte



Albert Einstein's Erklärung
des photoelektrischen
Effekts mit der
„Lichtquantenhypothese“



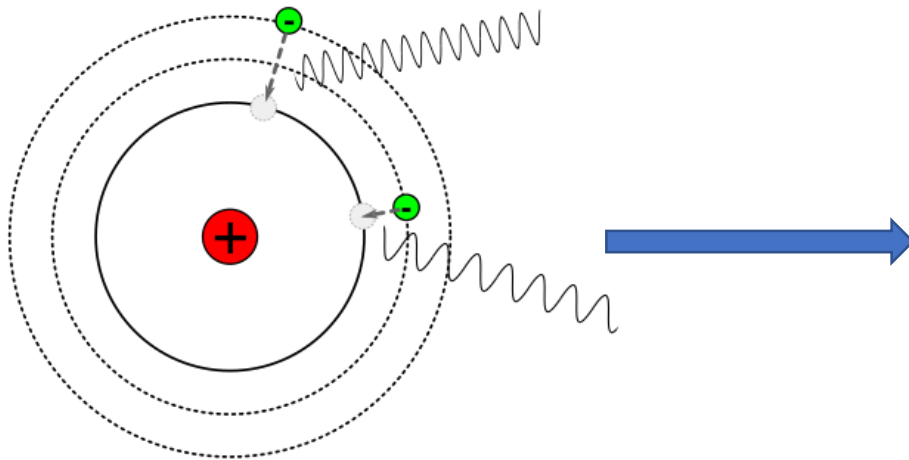
→ Nobelpreis 1921

Planck Postulat: Elektromagnetische Energie kann nur in quantisierter Form emittiert werden.

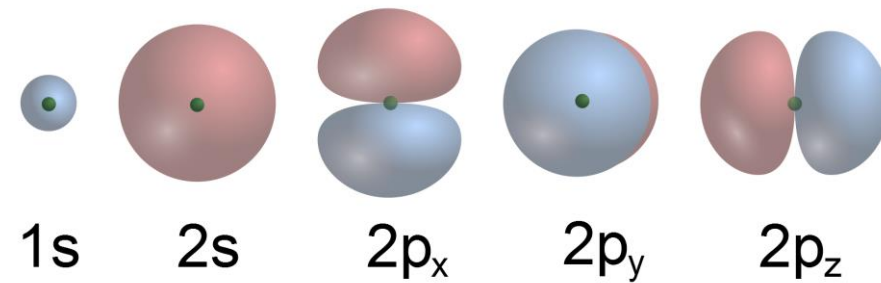
$$E = h \nu$$

Quantenwellen

1920-30: Welle-Teilchen-Dualität als zentrales Konzept in der Quantenmechanik



Bohr's Atommodell

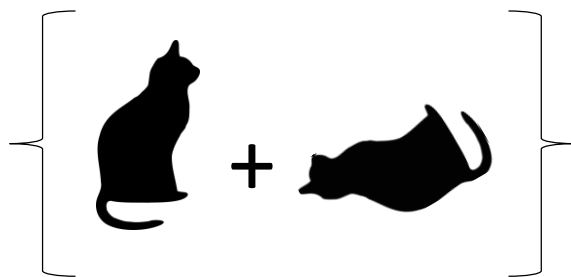


By This file was made by User:Sven
(<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>), CC BY-SA 2.5-2.0-1.0

Quantum 2.0

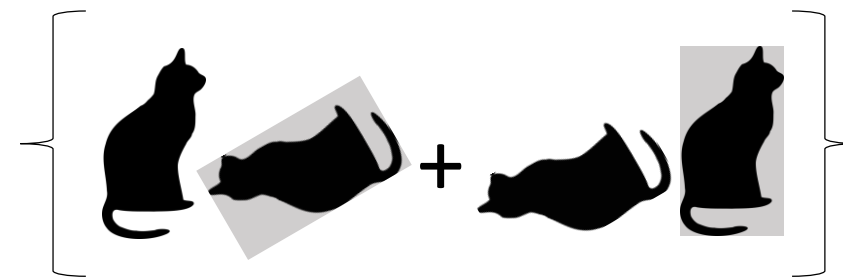
Superposition und Verschränkung

Superposition



Teilchen gleichzeitig in mehreren Zuständen
→ Schrödinger's Katze

Verschränkung

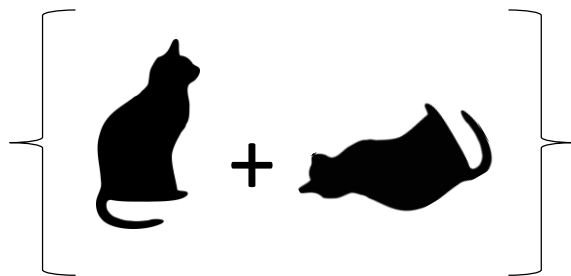


„Verschränkung über mehrere Teilchen hinweg“

Quantum 2.0

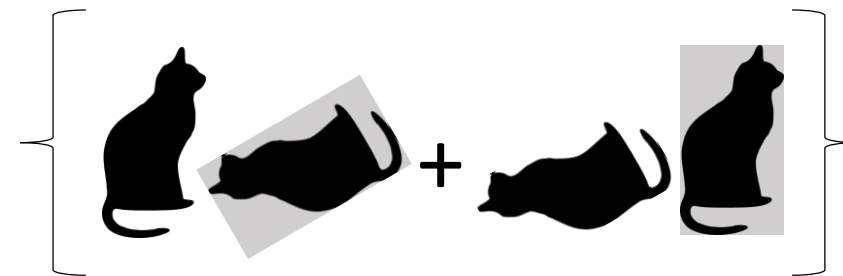
Superposition und Verschränkung

Superposition



Teilchen gleichzeitig in mehreren Zuständen
→ Schrödinger's Katze

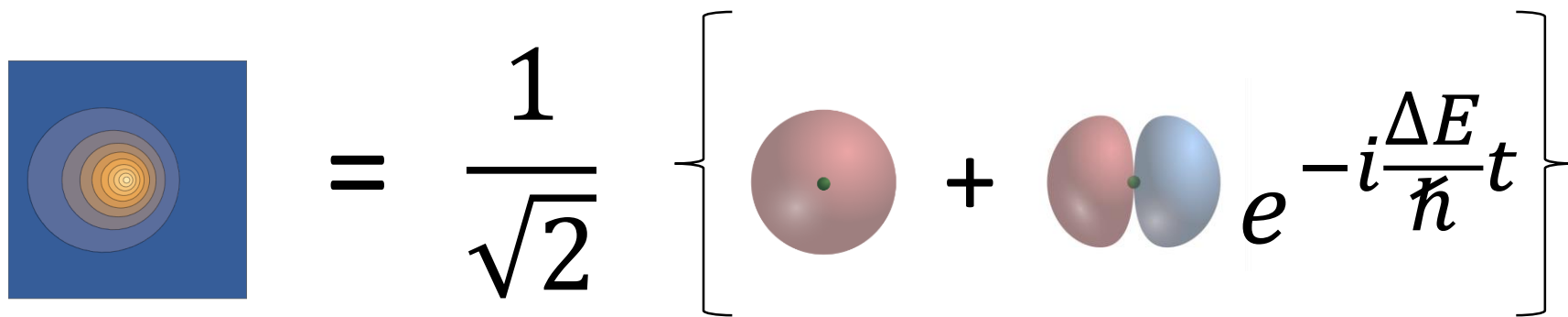
Verschränkung



„Verschränkung über mehrere Teilchen hinweg“

Beispiel: Superposition in einem Atom

„Schwingende Elektronenwolke“



$$= \frac{1}{\sqrt{2}} \left\{ \text{red sphere} + \text{red/blue spheres} e^{-i \frac{\Delta E}{\hbar} t} \right\}$$

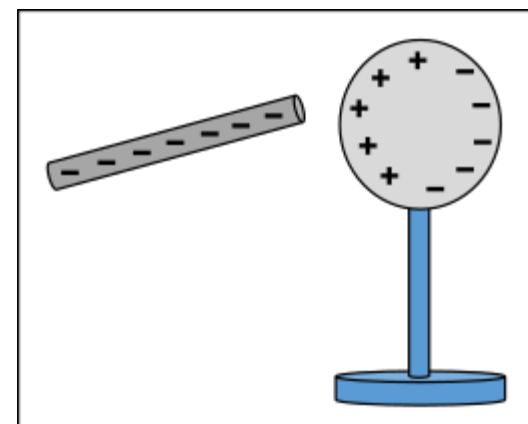
Abgewandelt von:
 By This file was made by User:Sven
 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>), CC BY-SA 2.5-2.0-1.0

Wie bringt man ein Atom zum Schwingen?

„Schubsen“ mit elektrischen Feldern



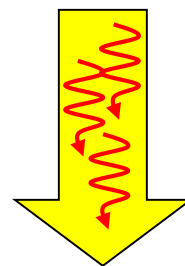
„Anschubsen“ eines klassischen Pendels



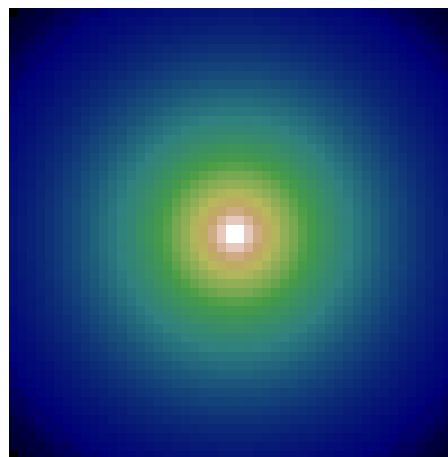
Induzierter elektrischer Dipol

Wie bringt man ein Atom zum Schwingen?

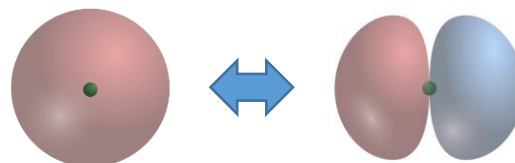
Licht-Atom-Wechselwirkung



Licht = oszillierendes elektrisches Feld
→ Periodisches „Anschubsen“



Atom = „elektrisches Pendel“



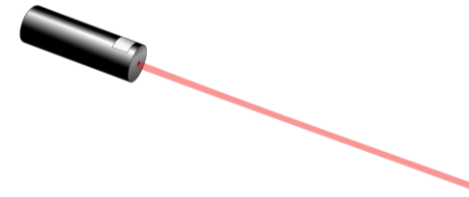
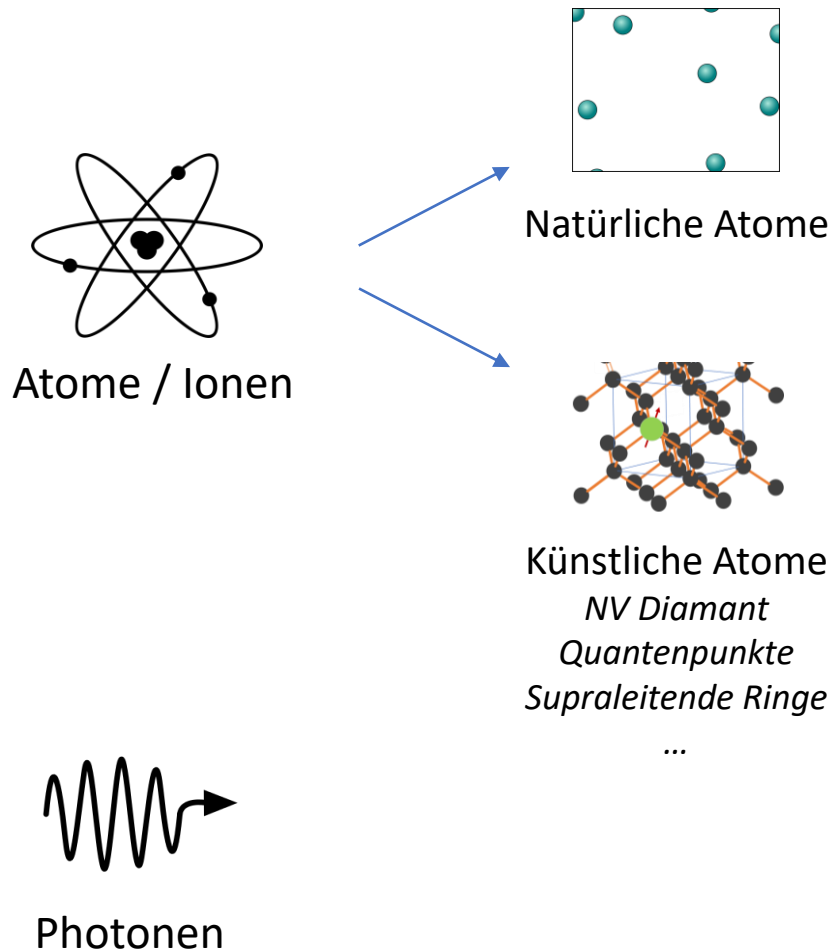
Quanteninterpretation:
Kopplung elektronischer Eigenzustände

Zutaten für die Quantentechnologie

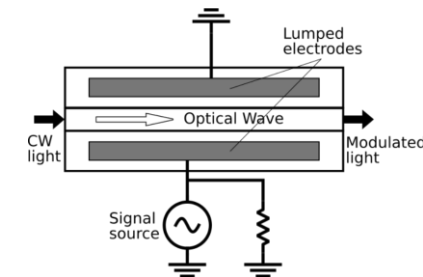
Quantenteilchen

+

Kontrolle



Laser- oder RF Pulse



Nichtlineare Kristalle
Photonische Systeme

- Elektronik
- Software
- Abschirmung
- Verpackung
- Nutzerschnittstelle
- ...

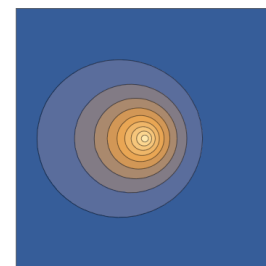
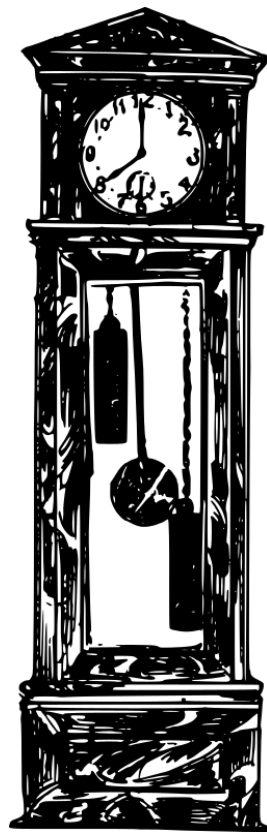
Warum sind Quantentechnologien “schwer“ zu bauen?

- Kontrolle durch Radiowellen:
 - Mikrofabrikation möglich
 - **Kyrogene Umgebung notwendig**

- Photons:
 - Betrieb bei Zimmertemperatur möglich
 - **Elektro-opto-mechanische Integrationsmethoden notwendig** → Ihre Chance?

Wie funktionieren Quantenuhren?

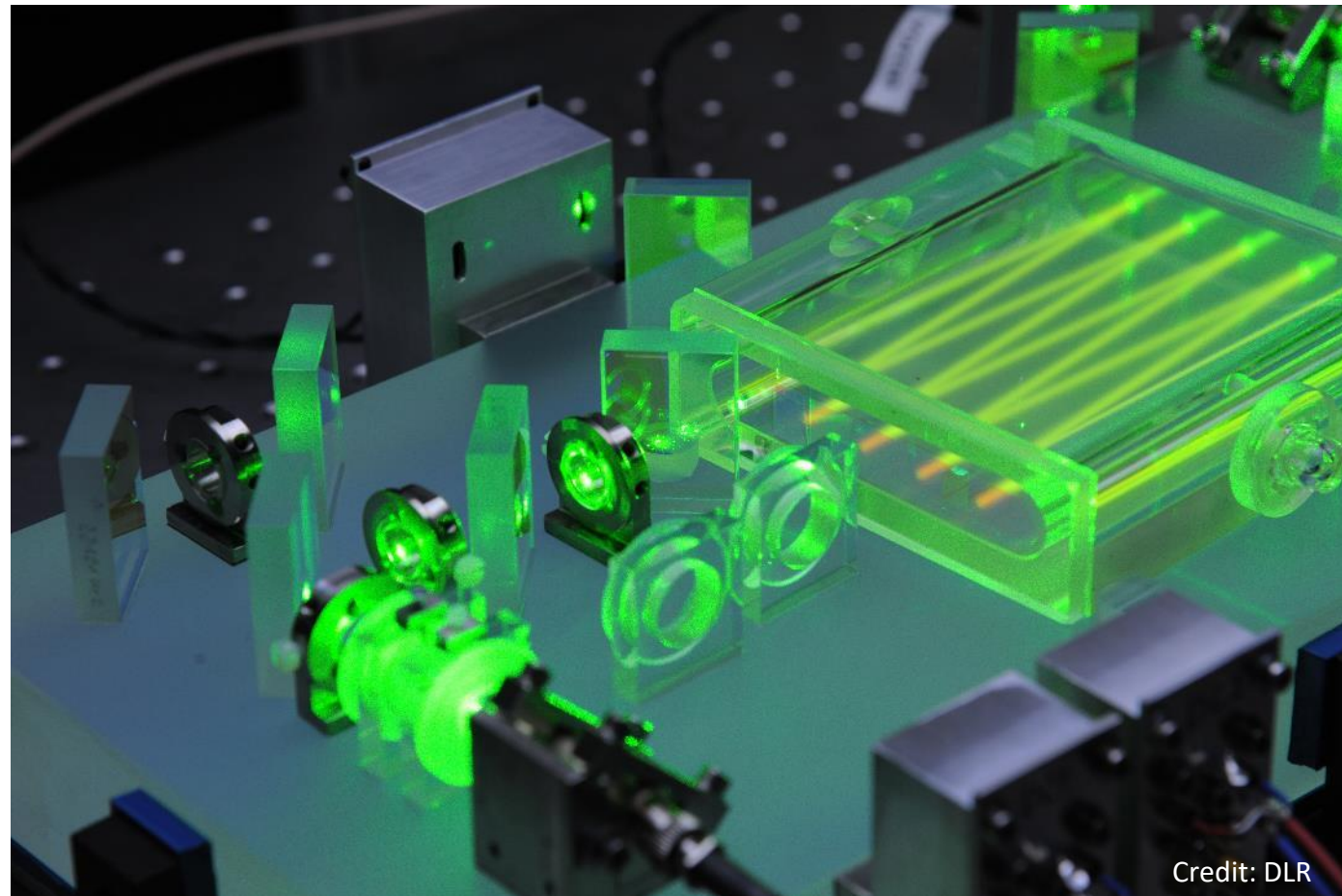
Eine Quantenuhr ersetzt den Oszillator (z.B. Pendel) einer Uhr mit einem Atom



Reproduzierbar und präzise durch Naturgesetze

So sieht es in der Praxis aus

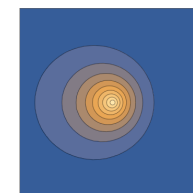
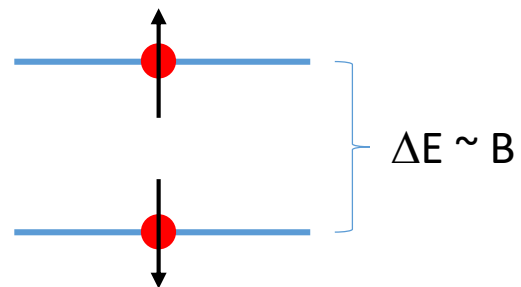
DLR JodUhr



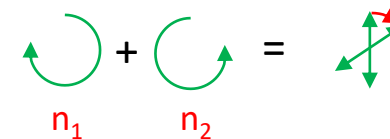
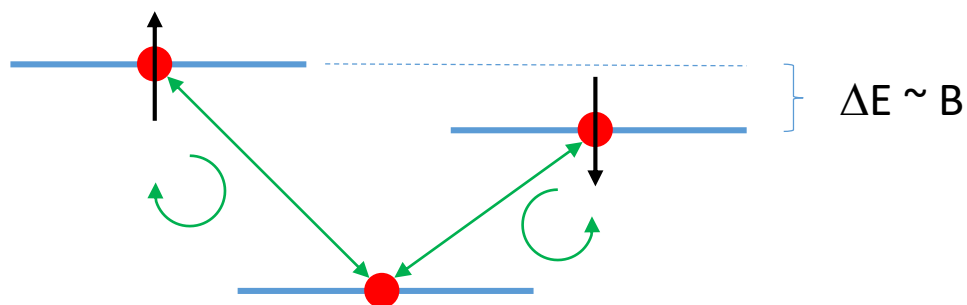
Credit: DLR

Quantum Magnetfeldsensoren

Energieniveaus abhängig vom Magnetfeld



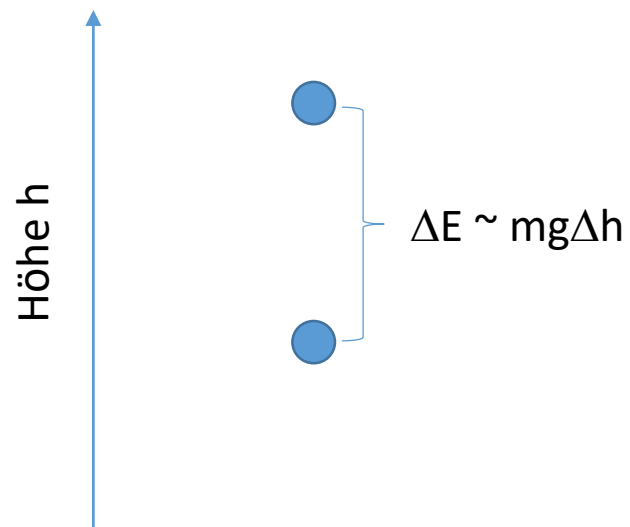
Schwingungsfrequenz hängt vom Magnetfeld ab



Änderung der Polarisationssebene

Quanten-Gravimeter / Inertialsensoren

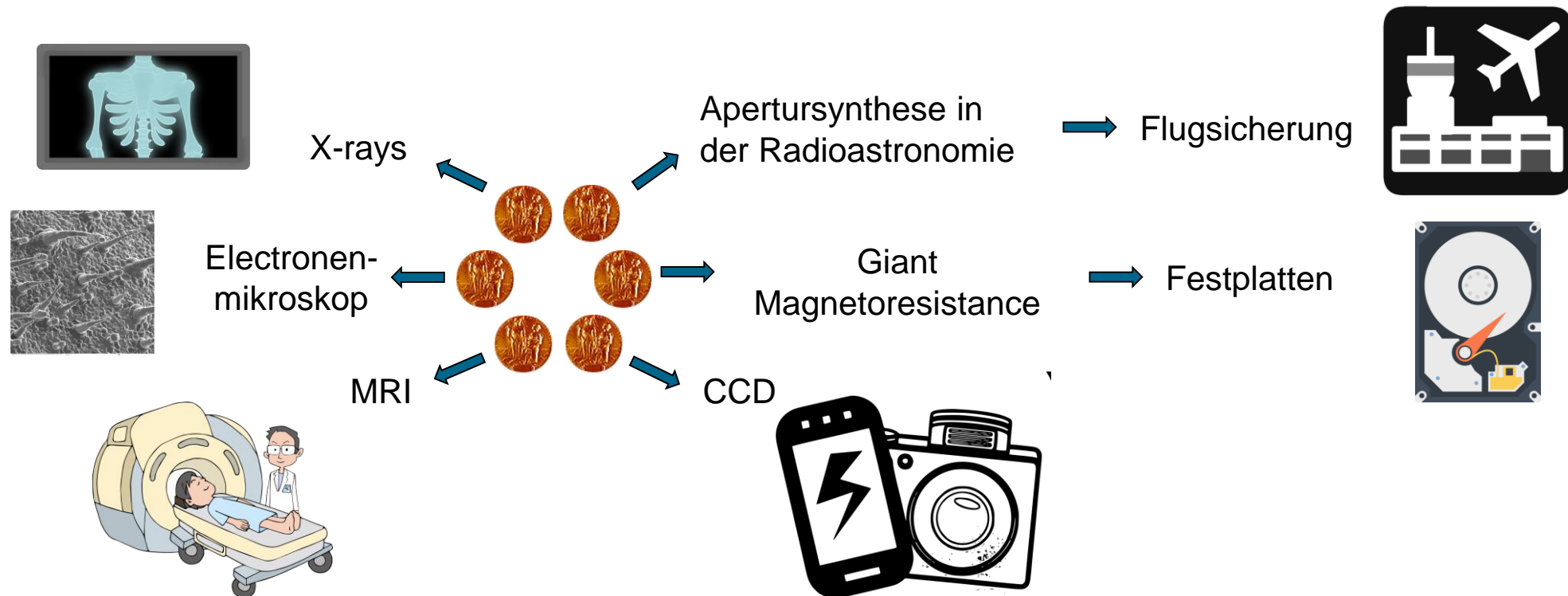
Phasenevolution durch Unterschiede in potentieller Energie



Chance für disruptive ErfinderInnen

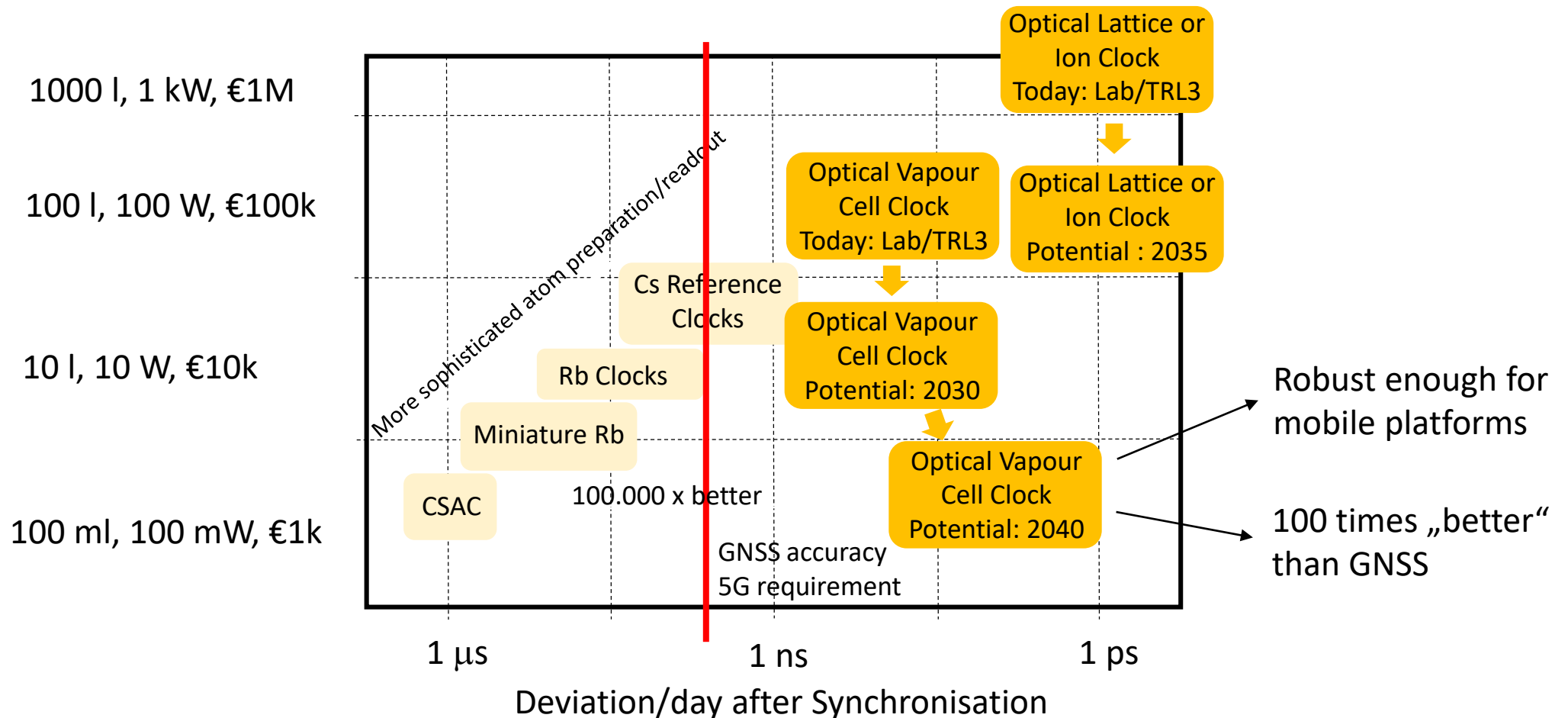
Sensoren und Uhren ermöglichen traditionell Anwendungen mit großem Inpakt-Potenzial

- Historische Beispiele anhand von Sensor-Nobelpreisen



Einzigartige Eigenschaften

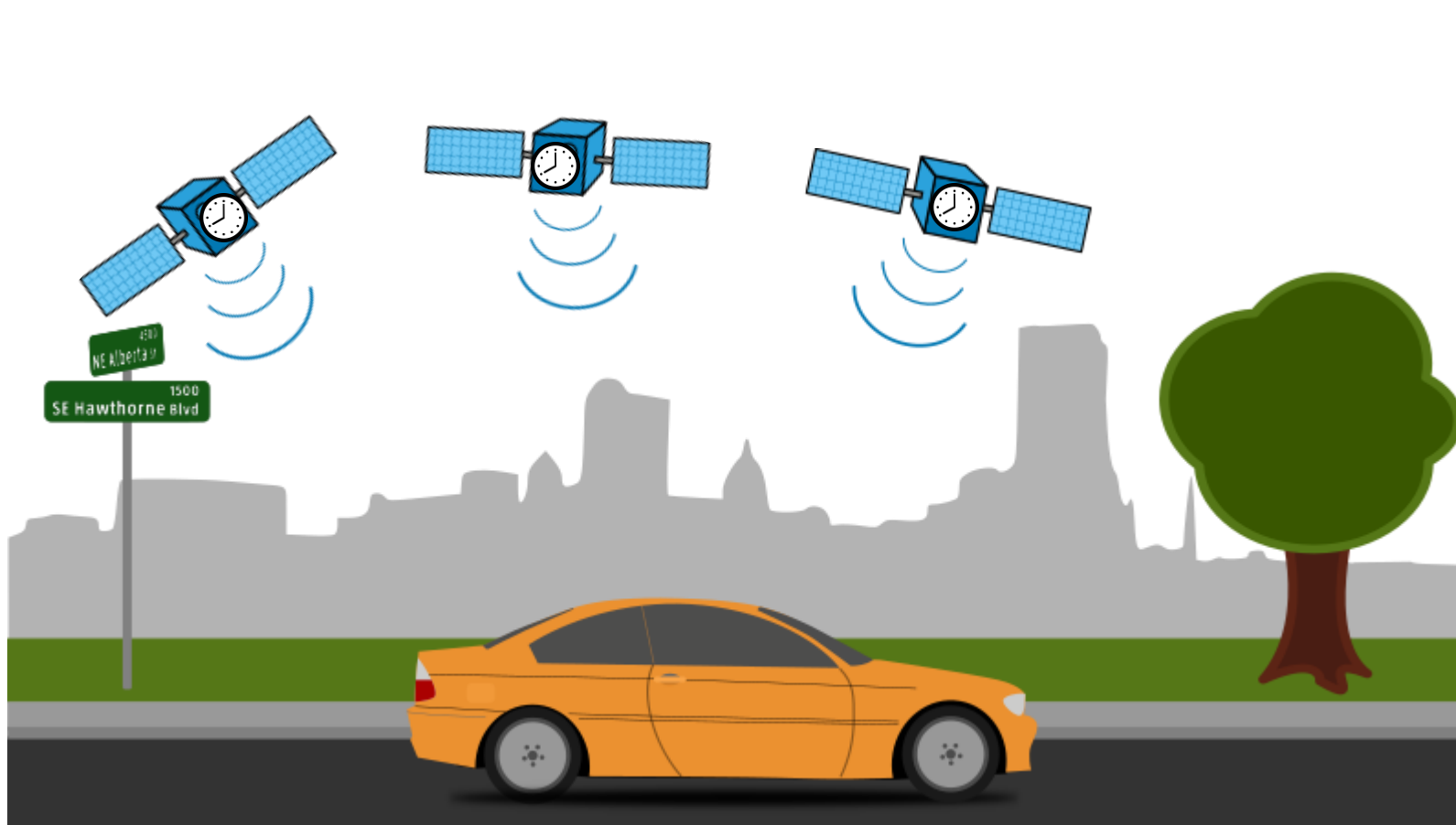
Quantenuhren: Genauigkeit



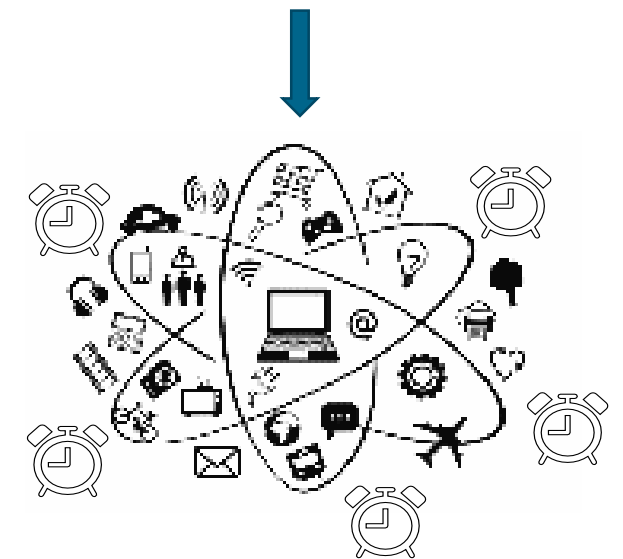
Quantenuhren für Navigation und Zeit



Quantenuhren ermöglichen Satellitennavigationssysteme



Navigation



Synchronisation

Impact: 5-10% of GDP

Zeit – die „Unsichtbare Ressource“

- Satellitennavigation
- Datennetze
- Energienetze
- Finanztransaktionen
- Verteilte Datenbanken
- Verteiltes Computing
- Internet of Things
- Industrie 4.0
- Cloud robotics
- ...

Ermöglicht durch Synchronisation

Vergleich:
kritische Materialien

GNSS kritische Abhängigkeiten

Notwendigkeit von unabhängigen Alternativen

64 UNTERNEHMEN & TECHNOLOGIE Satelliten

Wo bin ich?

Satellitensysteme wie GPS steuern Wirtschaft und Verkehr. Nun werden sie großflächig gestört – und der Westen arbeitet an einer Alternative

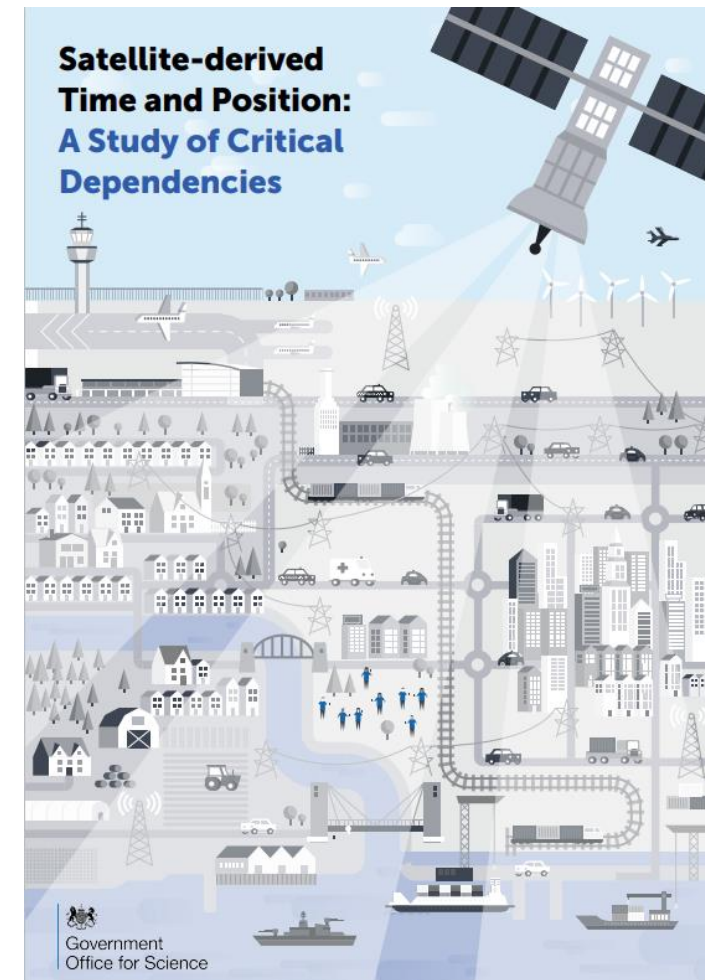
TEXT Thomas Kuhn



Anteil gestörter GPS-Signale an den Messungen
 ● Niedrig (2 bis 2 Prozent) ● Keine Daten ...
 ● Mittel (2 bis 10 Prozent) ● ... zu Land
 ● Hoch (> 10 Prozent) ● ... zu Wasser

UK Blackett Report 2018

Satellite-derived Time and Position: A Study of Critical Dependencies



Government Office for Science



FEDERAL REGISTER

The Daily Journal of the United States Government



PD Presidential Document

Strengthening National Resilience Through Responsible Use of Positioning, Navigation, and Timing Services

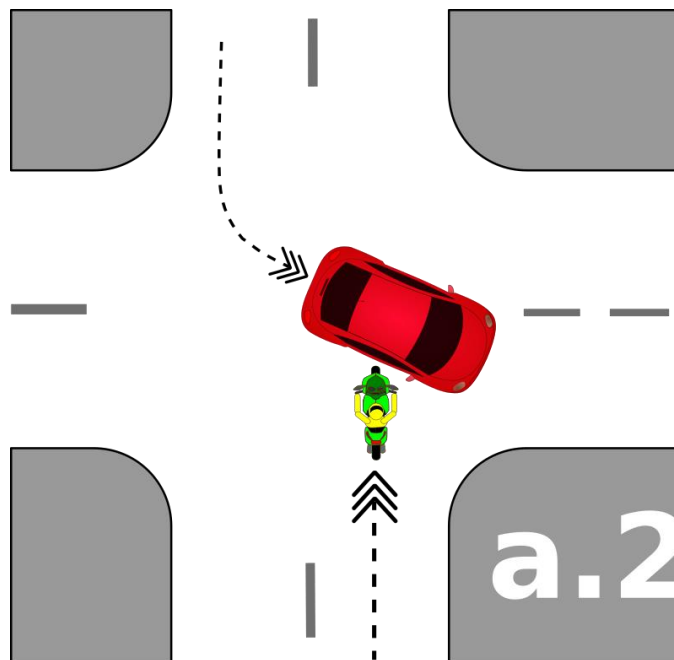
A Presidential Document by the Executive Office of the President on 02/18/2020

Wirtschaftswoche 10, 2024

Zukunftsanwendung Vernetzte Autonomie

Vernetzung der autonomen Fahrzeuge benötigt „Echtzeit“

„Ich bin in 300 ms an der Kreuzung und biege links ab“



„Ich überquere die Kreuzung in 100 ms“

Innovationsideen mit Quantenuhren



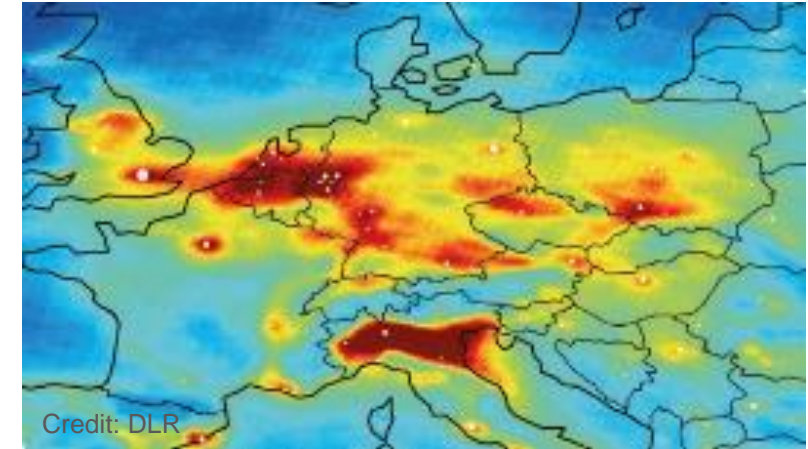
Kommunikation



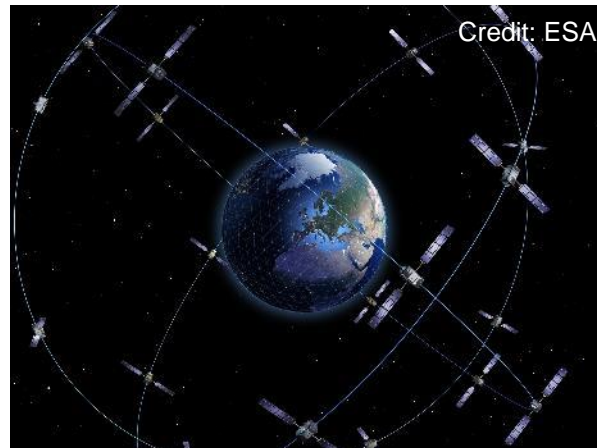
3D Radar



Urban Flight



Global Height Reference



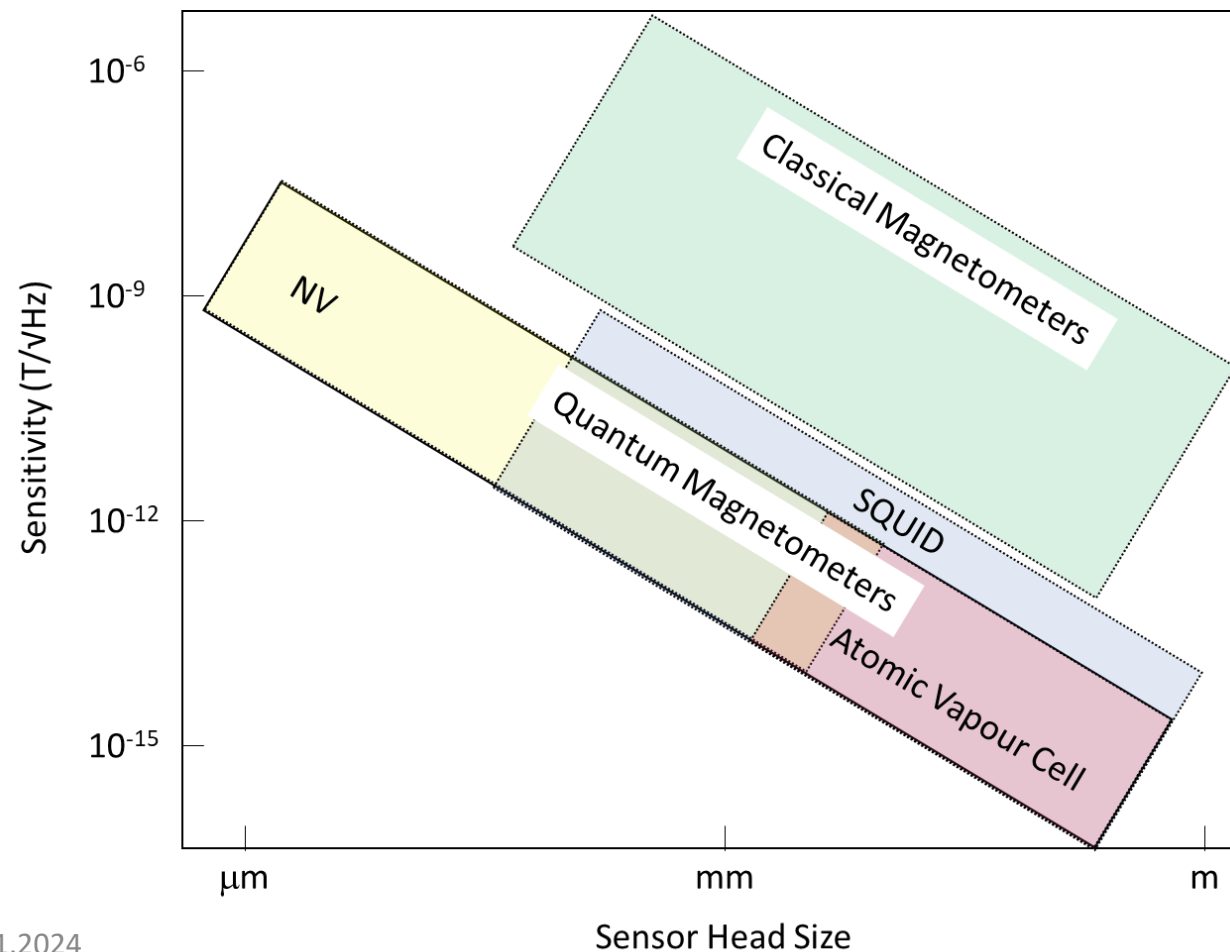
Satellitennavigation



Autonome Fahrzeuge

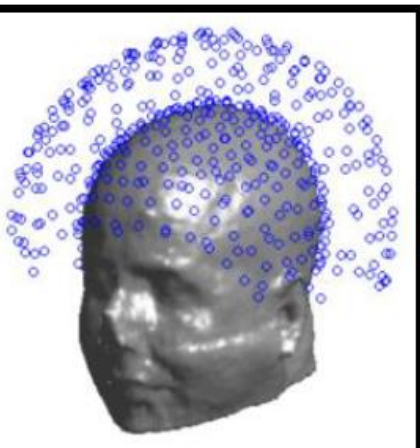
Einzigartige Eigenschaften

Quantenmagnetometer: Höchste Empfindlichkeit bei Raumtemperatur





Conventional MEG



On scalp MEG simulations 2016



Single channel recording 2017



First wearable OPM array 2018



First paediatric helmet 2019

A new generation of quantum sensors have enabled 'wearable' brain imaging technology



50 channel whole head system 2020



First simultaneous OPM/EEG 2019

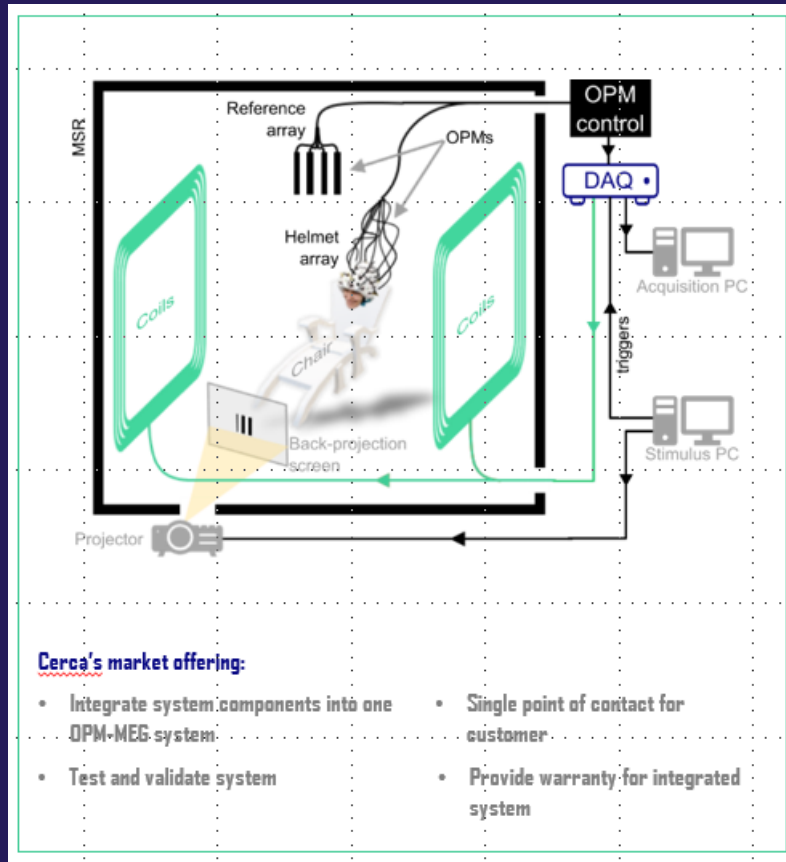


First Gen II OPM recordings 2019

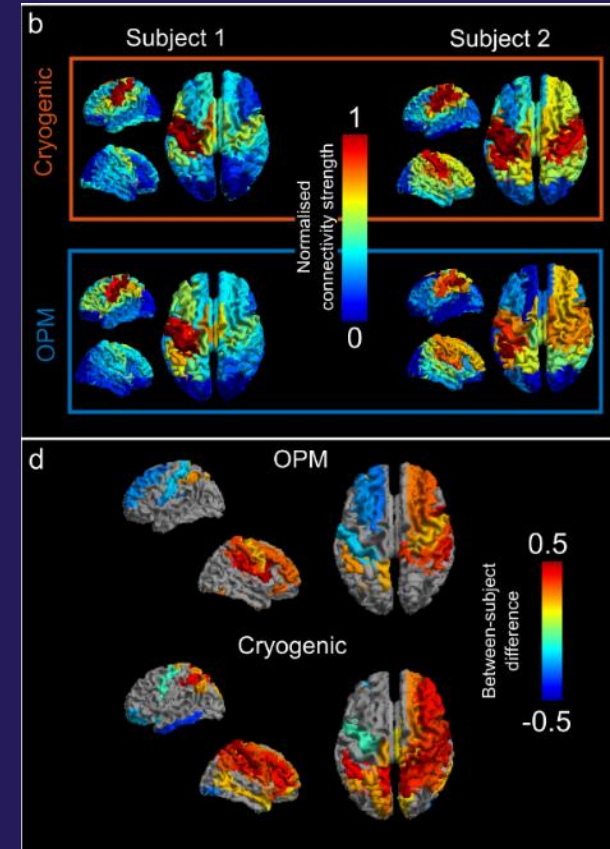


First VR-MEG recording 2019

Its here NOW: Commercial Offering



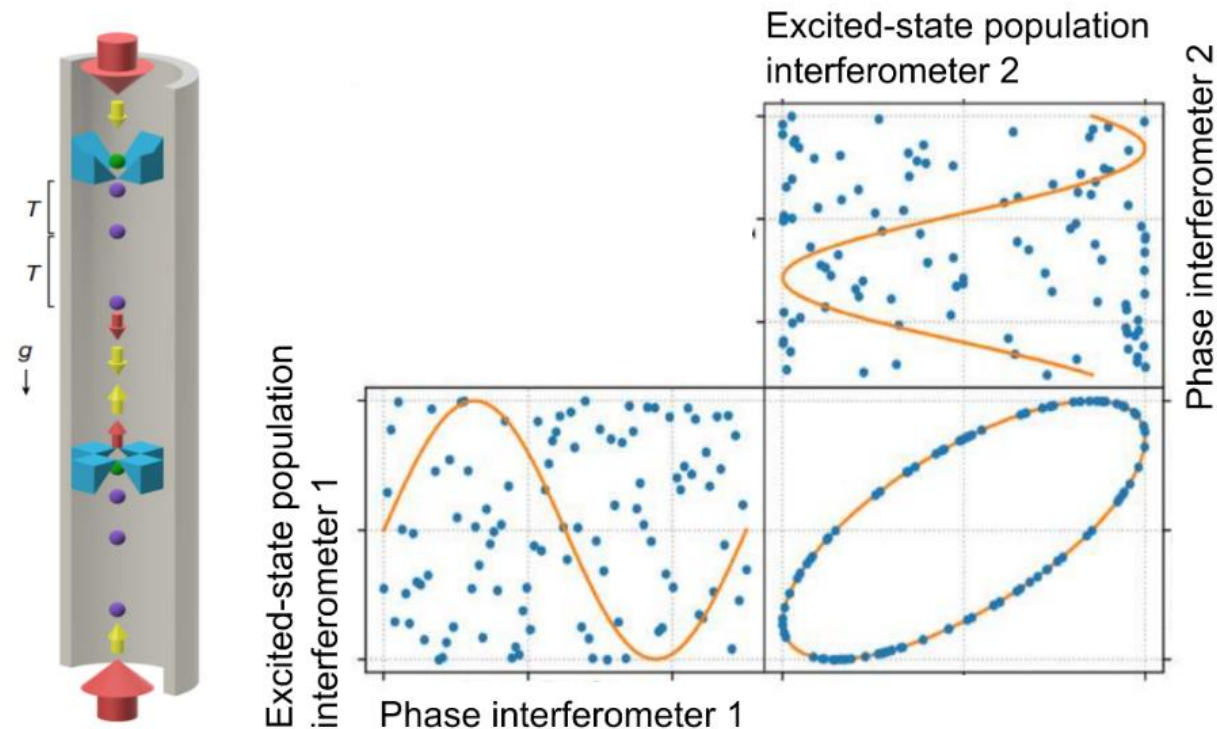
Joint venture between University of Nottingham and Magnetic Shields Ltd.



Einzigartige Eigenschaften

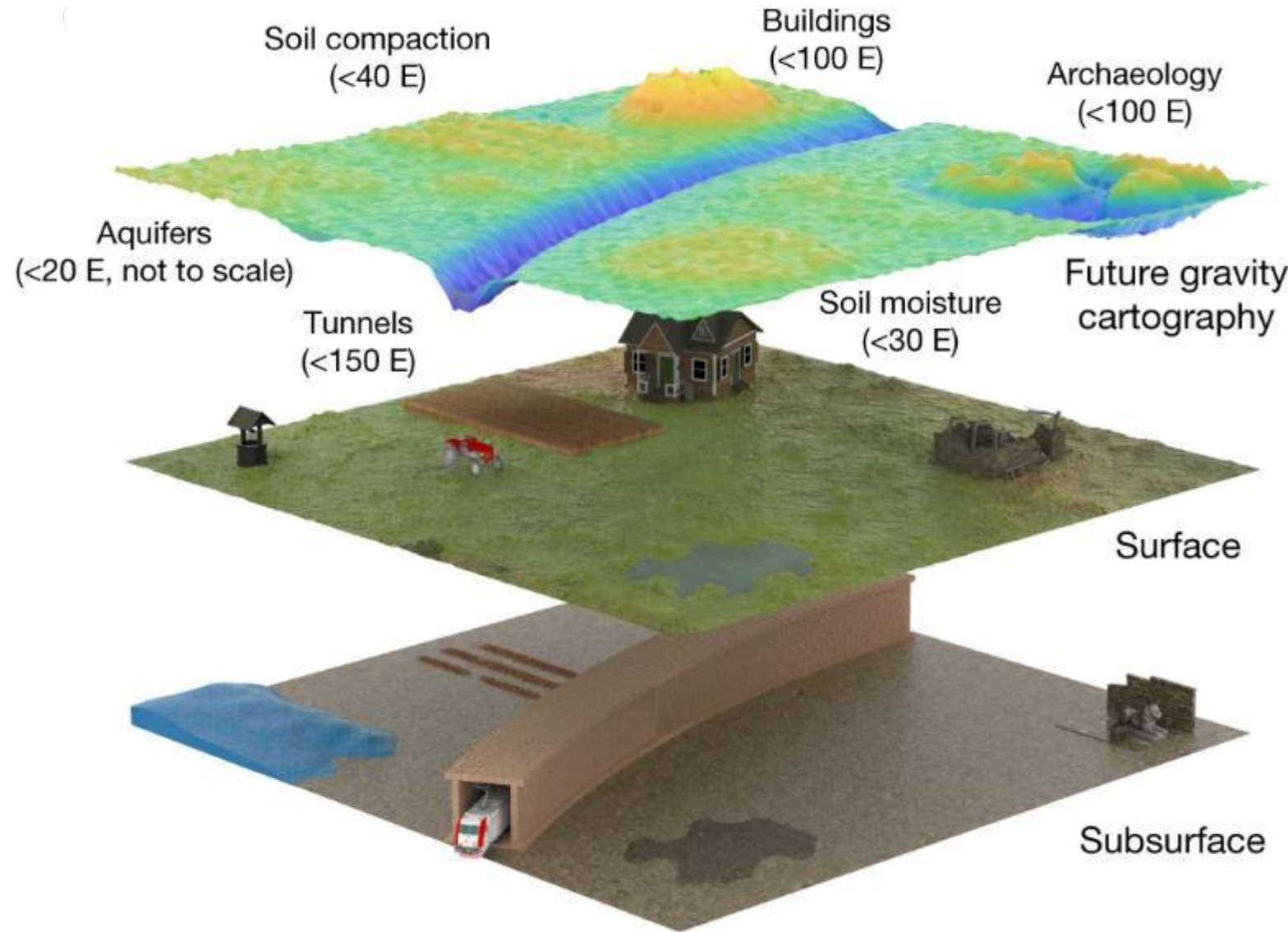
Quanteninertialsensoren: keine Drift und exakter Skalenfaktor

→ Beste Gleichtaktunterdrückung

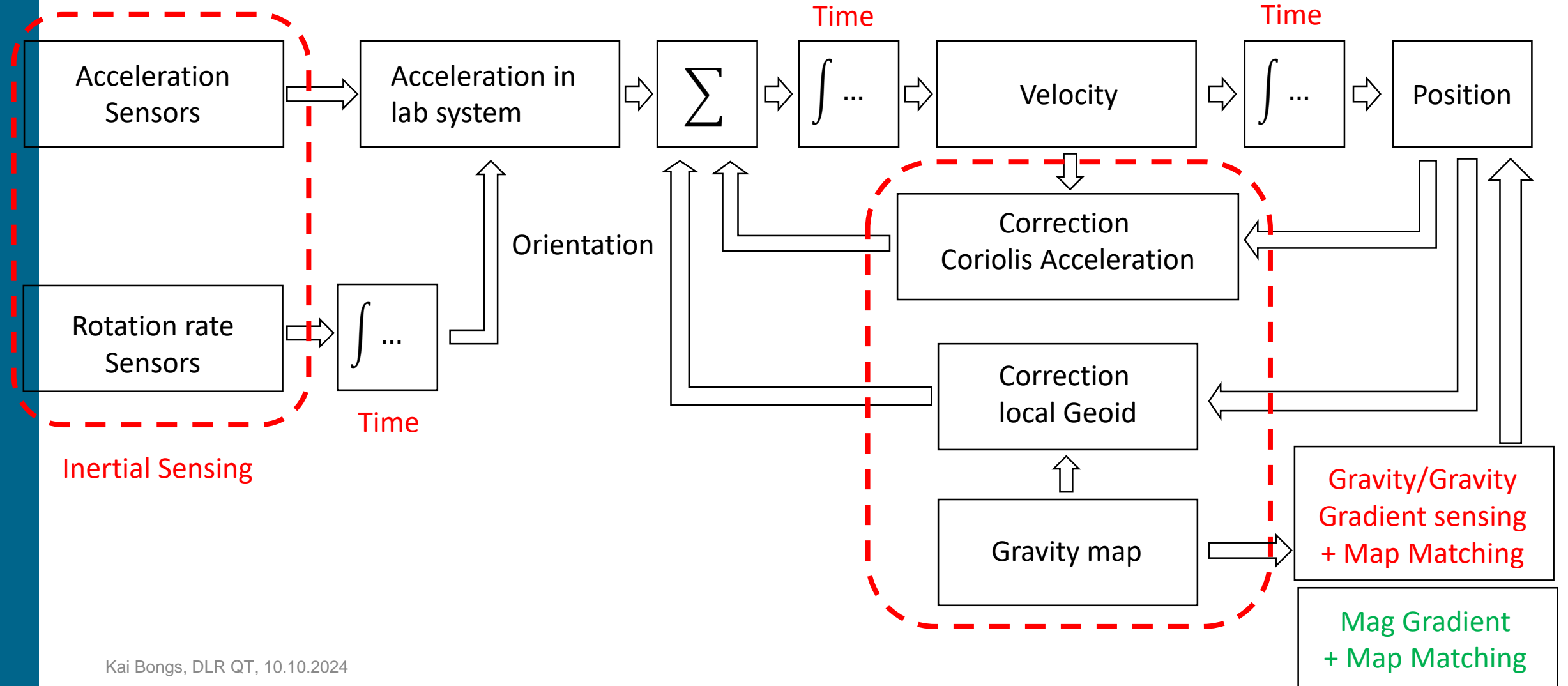


Enabling Gravity Cartography

- Relevant to a range of applications, including:
 - Water monitoring
 - Infrastructure
 - Archaeology
 - Agriculture
 - Navigation



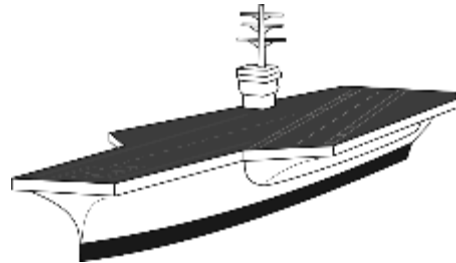
Schema: Quantennavigationssystem



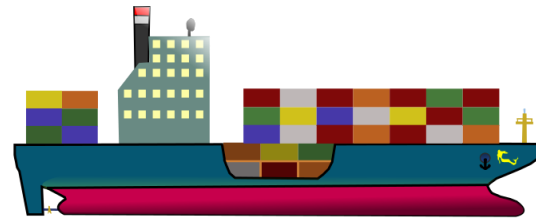
Markt Roadmap für Quantennavigation



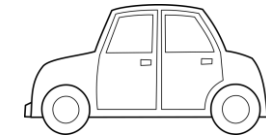
Kosten und Regulation entscheidend



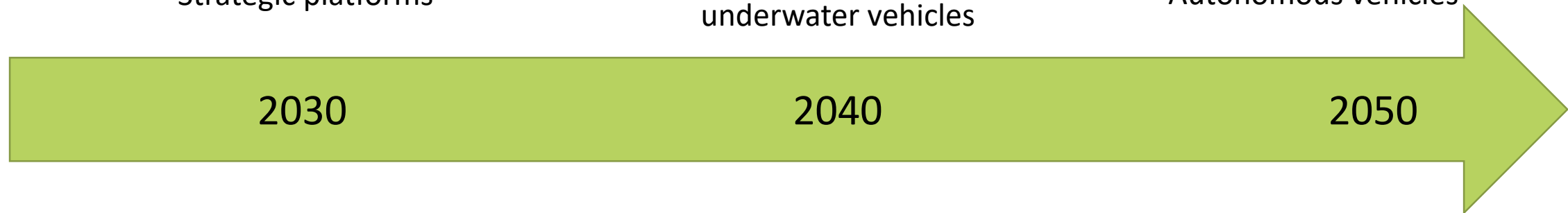
Strategic platforms



Autonomous ships and underwater vehicles



Autonomous vehicles



Unit cost

xM€

xxxk€

xxx€

Market volume

xxM€

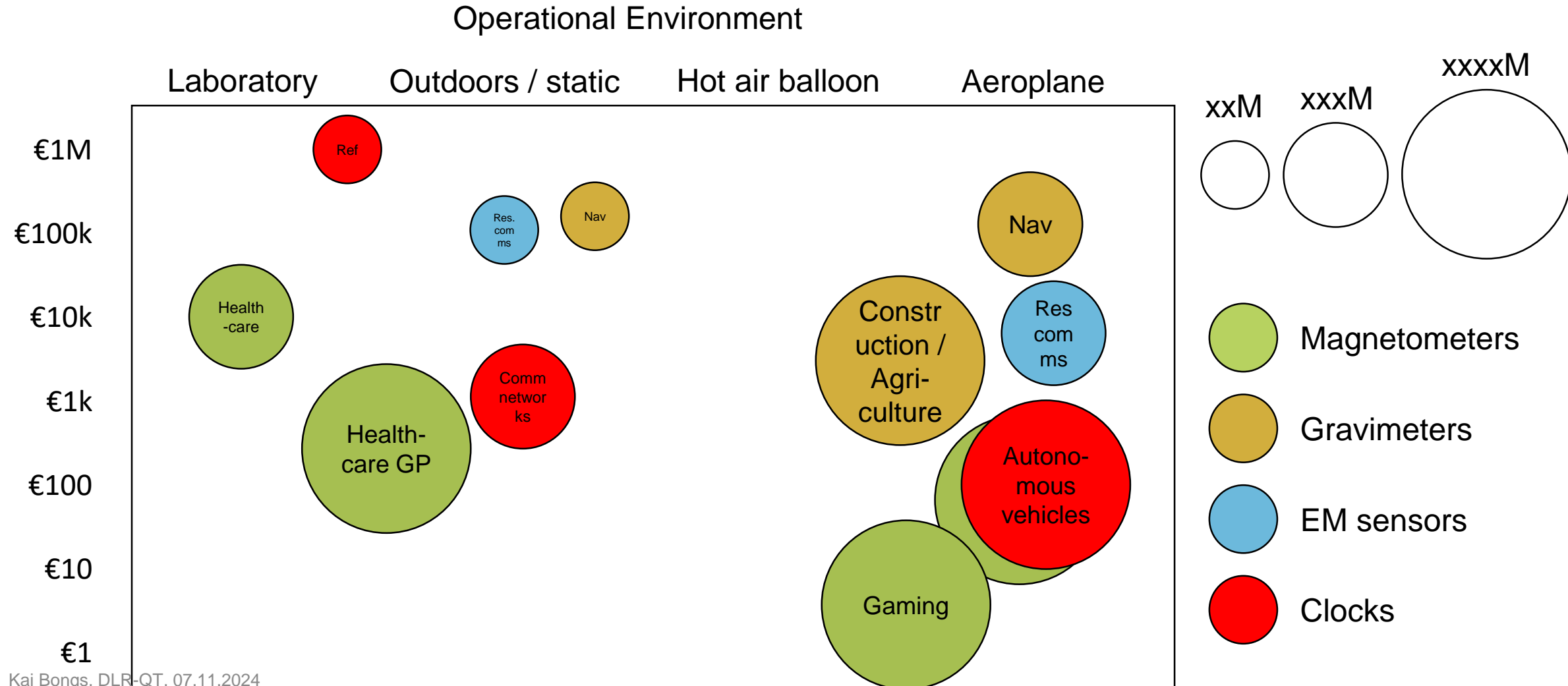
xxxM€

xxxxxM€

Potenzielle Quatensensormärkte



Treiber: Robustheit und Kosten



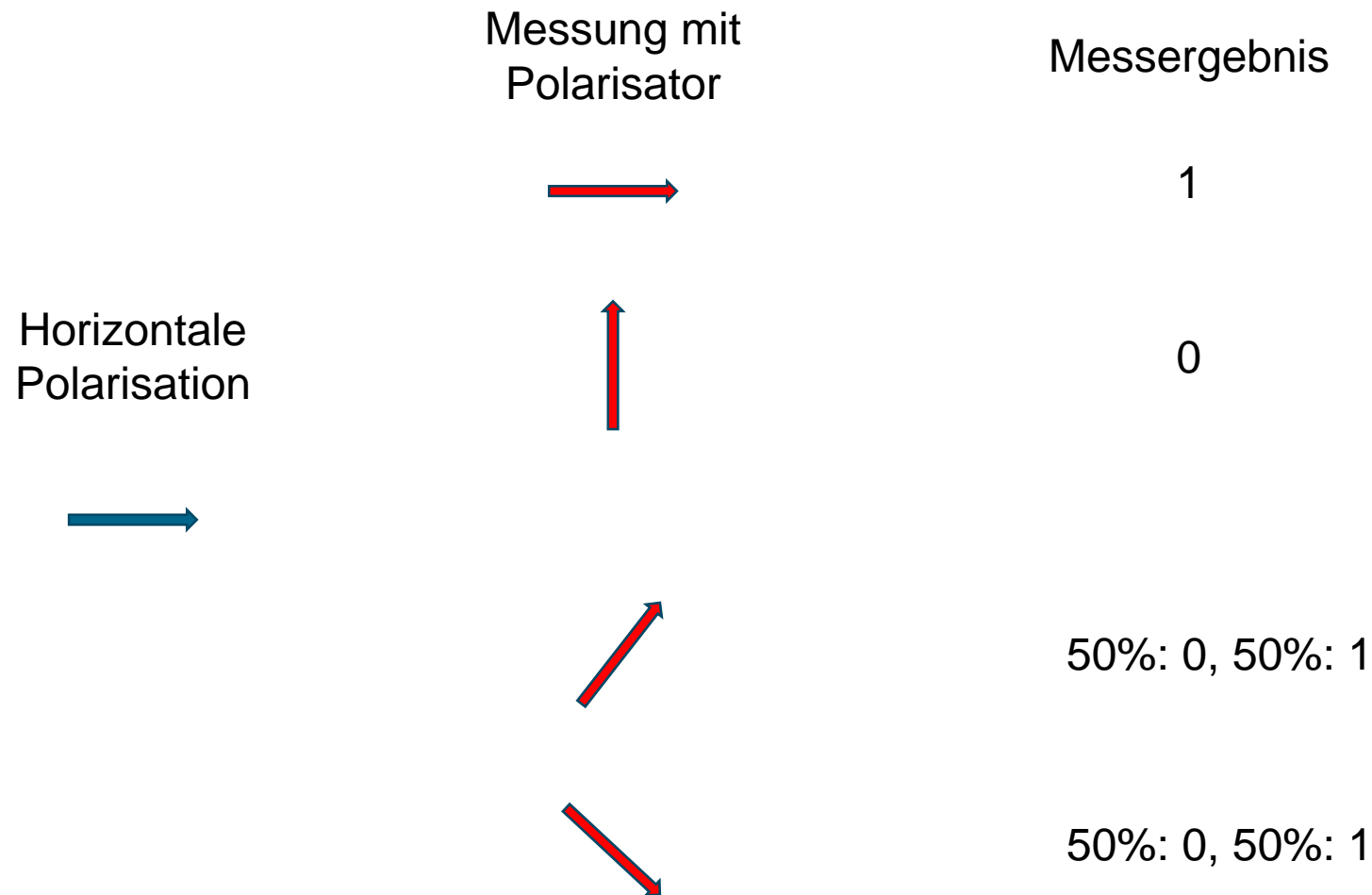
- Informationsübertragung mit Qubits
→ z.B. einzelne Photonen

- „No cloning theorem“
→ Qubits können nicht vervielfältigt oder kopiert werden

- Anwendungen:
 - Sichere Informationsübertragung
 - Verteiltes und geheimes Quantencomputing
 - Quanten-Authentifizierung
 - ...

Photonen als fliegende Qubits

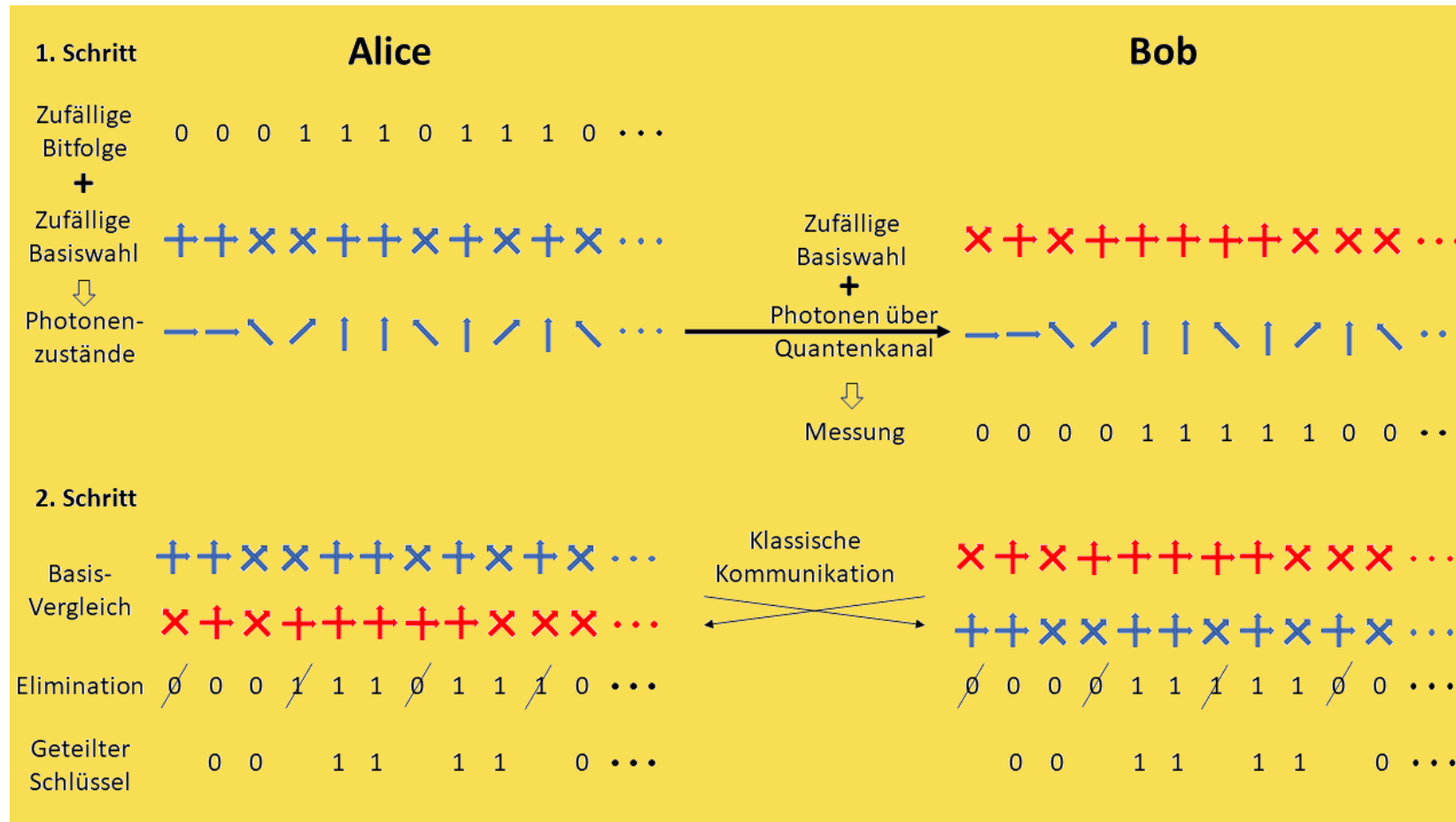
- Beispiel: Information kodiert im Polarisationszustand



Quanten-Schlüssel-Übertragung



BB84 Protokoll



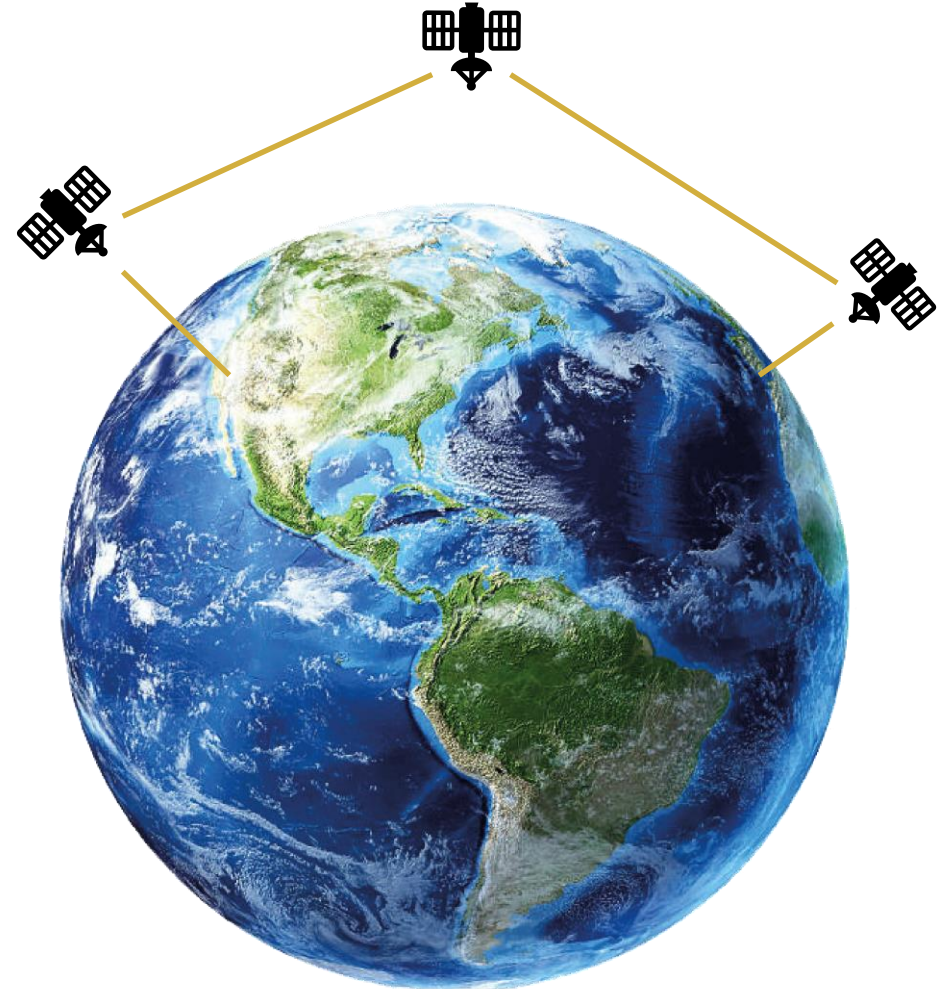
Sichere Kommunikation auf globaler Skala

Mit Glasfaserkabeln \approx 100 km Reichweite

Globale Verschränkung über Satelliten

- Quantenkryptographie
- Geheimes Quantencomputing
- Quanten-Authentifizierung

→ Ihre Anwendungsideen sind gefragt



Fragen ?

- Quantentechnologie ist teilweise schon jetzt verfügbar
- Quantenuhren ermöglichen große Teile der Wirtschaft und unterstützen kritische nationale Infrastruktur
- Quantensensoren unterstützen neue Medizintechnik
- Quantennetze versprechen Daten-Sicherheit
- Quantencomputer werden bestimmte Probleme lösen

- Viele Anwendungen können noch entdeckt werden
→ Chancen für UnternehmerInnen