

Quantum Science and Technology

Technology at its best

Nikola Pascher, Dominik Bischoff, Klaus Ensslin

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

QSIT Quantum
Science and
Technology

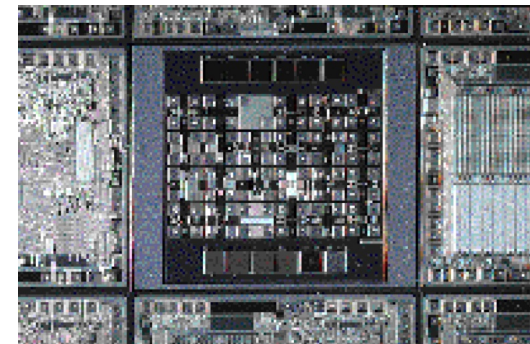
National Centre of Competence in Research

Klassische Technologie



First transistor

modern
integrated
circuit



Physik von Galilei, Keppler, Netwon, Maxwell,..

Quantum Technology

Scientific and technological
development

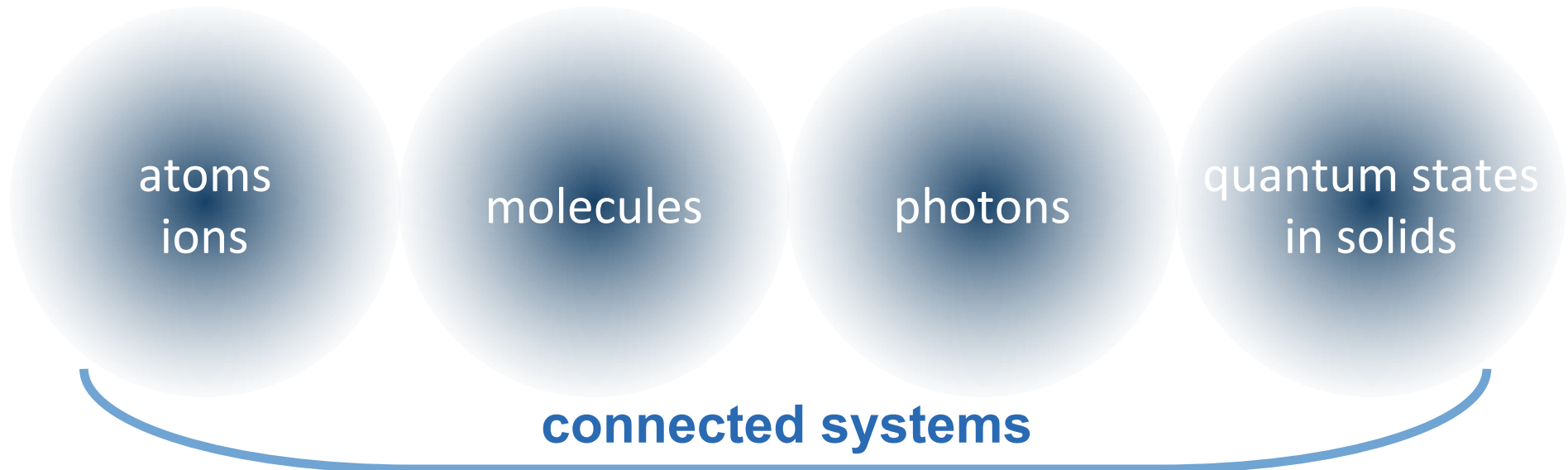
classical systems

shrinking scales:
space, energy, time

quantum systems



Engineering of Quantum Systems



1. quantum computing, quantum simulation, quantum cryptography
2. matter wave sensors, optical frequency synthesizer
3. super-chemistry and quantum materials
4. interference-based devices

Die Schweiz als Trainingscamp für globale Firmen

Zur Verbesserung des hiesigen Hightech-Standorts bedarf es vermehrt der Förderung technischer Fähigkeiten

Damit die Schweiz ihre Funktion als Basislager für Firmen, die weltweit tätig sind, weiter wahrnehmen kann, bedarf es einer sorgfältigen Förderung der Standort-Stärken. Dazu geht u. a. ein Fokus auf eine gute technische Ausbildung.

Jürgen Dormann

In den letzten zehn Jahren hat sich allen Unkenrufen zum Trotz gezeigt, dass der Werkplatz Schweiz zwar einem dauernden Wandel unterworfen, aber nicht grundsätzlich gefährdet ist. Viele Unternehmen haben sich erfolgreich der Globalisierung mit einem stetig zunehmenden internationalen Warenaustausch gestellt und sich dabei aktiv und kreativ jung und technologisch auswelt

Besinn

Aber aufbeweiseung: Sie Weiterer

marktung weiterhin die Schweiz als Basis, auch wenn sie für eine weltweit konkurrenzfähige Produktion stärker auf Betriebe in den ausländischen Absatzmärkten und besonders den aufstrebenden Märkten Asiens und Südamerikas setzen müssen. So sind bei Sulzer heute gegen ein Drittel der über 12 000 Mitarbeitenden in diesen Märkten tätig. Mit modernen Produkten leistet das vor

175 Jahren gegründete Unternehmen heute wichtige Beiträge dazu, die wachsende Nachfrage nach Erdöl und -gas, nach Elektrizität und Mobilität zu decken und dabei die begrenzten natürlichen Ressourcen effizient zu nutzen. Derzeit steckt die Weltwirtschaft

Glücksfall ETH

diese noch bewusster zu pflegen und weiterzuentwickeln.

Offen für Auswärtiges

Tragende Säulen sind und bleiben Forschung und Technik. Eigene technische Entwicklungen und die geschickte Aufnahme und Umsetzung auswärtiger Erfindungen haben immer wieder schöpferische Wirkungen erzielt.

Das herausragende Beispiel ist sicher die ETH Zürich

Erser in ort mit und mit ten

wicklung deshalb bewusst so, dass sie die ganze Spanne von technologischen Neuentwicklungen bis zu neuen Marktbedürfnissen abdecken und verbinden. Mit Ansätzen der «open innovation» des offenen Austausches mit externen Experten, werden Neuentwicklungen in ausgewählten Kerngebieten gezielt mitverfolgt und mitgestaltet. Gleichzeitig richtet sich der Entwicklungsprozess

auch in den frühen Stufen an der Wertschaffung für die Kunden aus. Die Zusammenarbeit mit Klienten und Lieferanten hilft, nicht bei den unmittelbar sichtbaren Verbesserungspotenzialen stehenzubleiben, sondern grundlegend neue Lösungen zu entwickeln.

Glücksfall ETH

Für den Werkplatz Schweiz sind dabei international führende Universitäten ein wichtiger Standortvorteil. Geografische Nähe fördert den intensiven Austausch und die direkte Begegnung, die gerade bei kreativen Prozessen relevant bleibt. Deshalb ist es wichtig, dass die hiesigen Universitäten und Hochschulen international gesehen zur Spitze gehören. Eine Voraussetzung dafür ist die Internationalität der Lehrenden, aber auch ein angemessener Anteil an ausländischen Studierenden.

Ganz besonders ist der Werkplatz Schweiz an einer universitären Stärke in den technischen Disziplinen interessiert. Das herausragende Beispiel ist sicher die ETH Zürich, die gerade in entscheidenden Bereichen – Maschinenbau, Elektrotechnik, Informations-

technik, Medizintechnik, aber der Grundlagenforschung v Quantenphysik internationale positionen hält. Die Förderstif

die ETH Zürich, die ETH Foundation, deren Präsident ich bin, bemüht sich weltweit um Mittel und um Unterstützung für Projekte an der ETH. Der Werkplatz Schweiz hat hier ein Pfund mit dem sich treffen wenn die praktische Zusammenarbeit

finanzielle Unterstützung intensiviert werden sollen. Das erlaubt den hier ansässigen Unternehmen auch, ihren Heimvorteil zu nutzen und die wissenschaftlichen Erkenntnisse rasch in marktfähige Produkte umzusetzen.

Früh die Begeisterung für technische Berufe zu wecken, ist ein weiterer Faktor – der Hightech-Standort Schweiz verlangt nach hochqualifiziertem Nachwuchs. Schon im Schulalter müssen diese Heranführung an technische Fragestellungen und die Förderung zukünftiger Ingenieur-Talente einsetzen. Der Verband der Schweizer Maschinen-, Elektro- und Metallindustrie (Swissmem) lanciert deshalb Ende Oktober die Initiative tecmania.ch, die gezielt Jugendliche anspricht.

Ein wesentlicher Erfolgsfaktor für den Werkplatz Schweiz ist zudem, dass sich die gute Berufsbildung keineswegs auf den akademischen Bereich beschränkt. In den letzten Jahren hat richtigerweise die Durchlässigkeit von der klassischen Berufslehre zu weiterführenden Ausbildungen zugenommen. Dabei ist allerdings darauf zu achten, dass gesamthaft keine Anpassung der Anforderungen nach unten stattfindet.

Quantenphysik

Werkplatz als Melting Pot

Förderlich hat sich in den letzten Jahren auch die erweiterte Freizügigkeit

Jürgen Dormann

globalisierten Wirtschaft muss auch am Werkplatz Schweiz Internationalität eine Selbstverständlichkeit sein. So arbeiten bei Sulzer in der Schweiz gut 50 Nationalitäten zusammen. International zusammengesetzte Arbeitsteams bringen qualitativ hochwertigen Output und erleichtern einen flexiblen Einsatz der Mitarbeiter auch in anderen Ländern.

In mehrfacher Hinsicht als Vorteil erweisen dürfte sich, dass die Schweiz im Vergleich mit vielen anderen Staaten sich auch in der jüngsten Wirtschaftskrise mit Eingriffen zurückgehalten hat. Einerseits bleiben damit die von Wirtschaft und Gesellschaft zu tragenden Lasten relativ klein. Andererseits werden weniger längerfristig notwendige strukturelle Anpassungen durch Stützmassnahmen aufgeschoben.

Der Werkplatz Schweiz wird erfolgreich bleiben, solange er seine Stärken ausspielt: eine hochqualifizierte Mitarbeiterschaft, Innovationskraft und enge internationale Verknüpfung, um die wichtigsten zu nennen. Das jedenfalls ist meine Einschätzung nach Erfahrungen in der Führung ganz unterschiedlicher Unternehmen in ganz unterschiedlichen Industriezweigen, in der Schweiz und zuvor auch viele Jahre ausserhalb der Schweiz. Wenn sich ein gewisses unternehmerisches Geschick und strategische Weitsicht zu den Vorzügen des Werkplatzes Schweiz hinzugesellen, muss uns um die Zukunft des technisch-innovativen produzierenden Gewerbes im Lande sicher nicht bange sein.

Jürgen Dormann ist Verwaltungsratspräsident bei Sulzer.

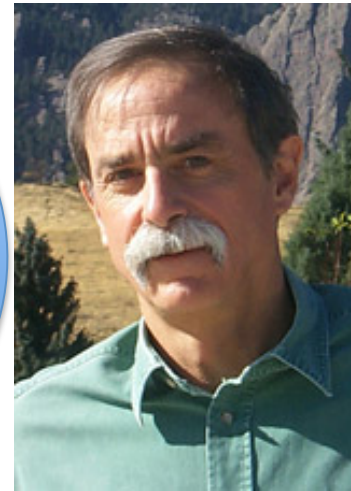
NCCR QSIT: vision

understand and control individual quantum systems:
atoms, molecules, quantum dots, superconducting
qubits, photons



Serge Haroche

"... I use atoms
to study photons
and he uses
photons to study
atoms ..."



David Wineland

The Nobel Prize in Physics 2012



NCCR QSIT: vision

understand and control individual quantum systems:
atoms, molecules, quantum dots, superconducting qubits, photons

realize interacting quantum systems:
atoms in lattices, fractional quantum Hall states

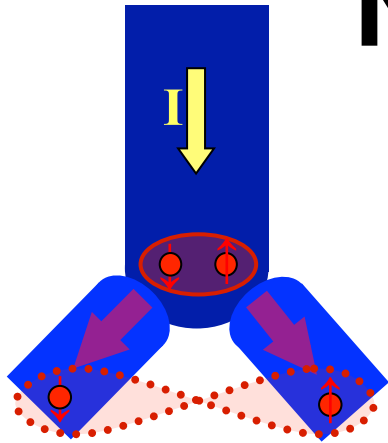
develop hybrid quantum system:
microwave bus coupled to dots, Rydberg atoms, quantum memories with rare-earth ions in a solid opto-mechanical systems

Alain Aspect, “John Bell and the second quantum revolution“
introduction to collection of J Bell’s papers on quantum
mechanics, Cambridge University Press, 2004

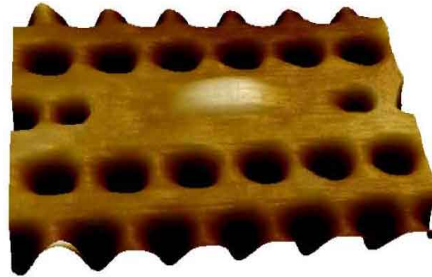
QSIT: 33 research groups in Switzerland

- ETH Zürich: Blatter, Bölcskei, Christandl, Degen, Ensslin, Esslinger, Faist, Home, Ihn, Imamoglu, Merkt, Renner, Troyer, Wallraff, Wegscheider, Wolf, Wood
- Uni Basel: Bruder, Loss, Poggio, Schönenberger, Treutlein, Warburton, Willitsch, Zumbühl
- Uni Geneva: Büttiker, Gisin, Morpurgo, Zbinden
- EPFL: Fontcuberta, Kippenberg
- IBM: Fuhrer, Salis

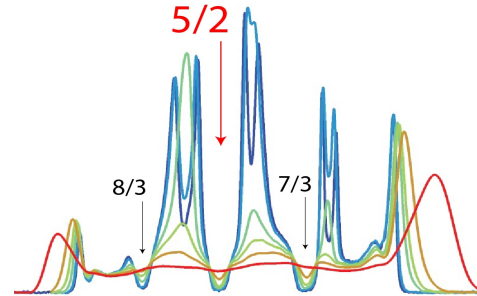
NCCR QSIT: breadth



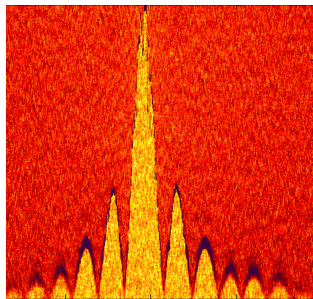
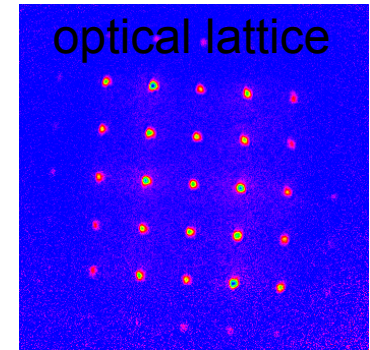
entangler



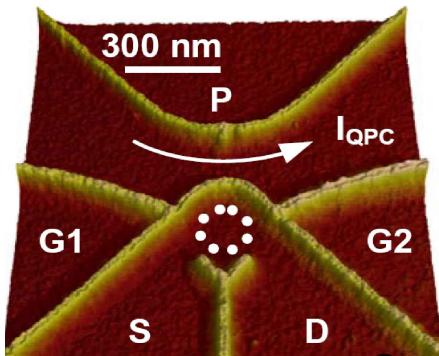
photonic crystals



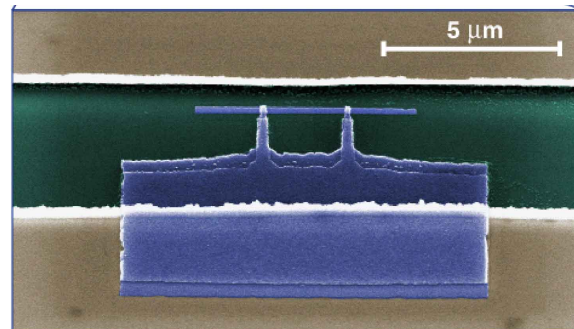
fractional QHE



graphene JJ



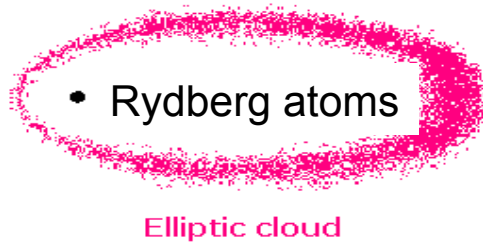
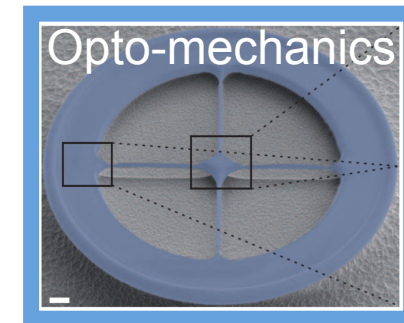
quantum dot



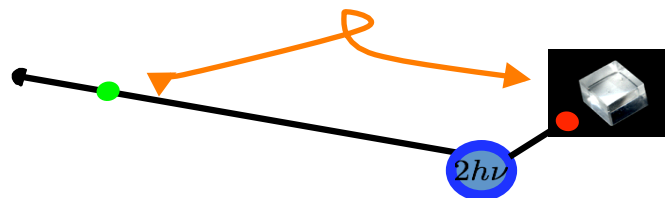
superconducting qubits



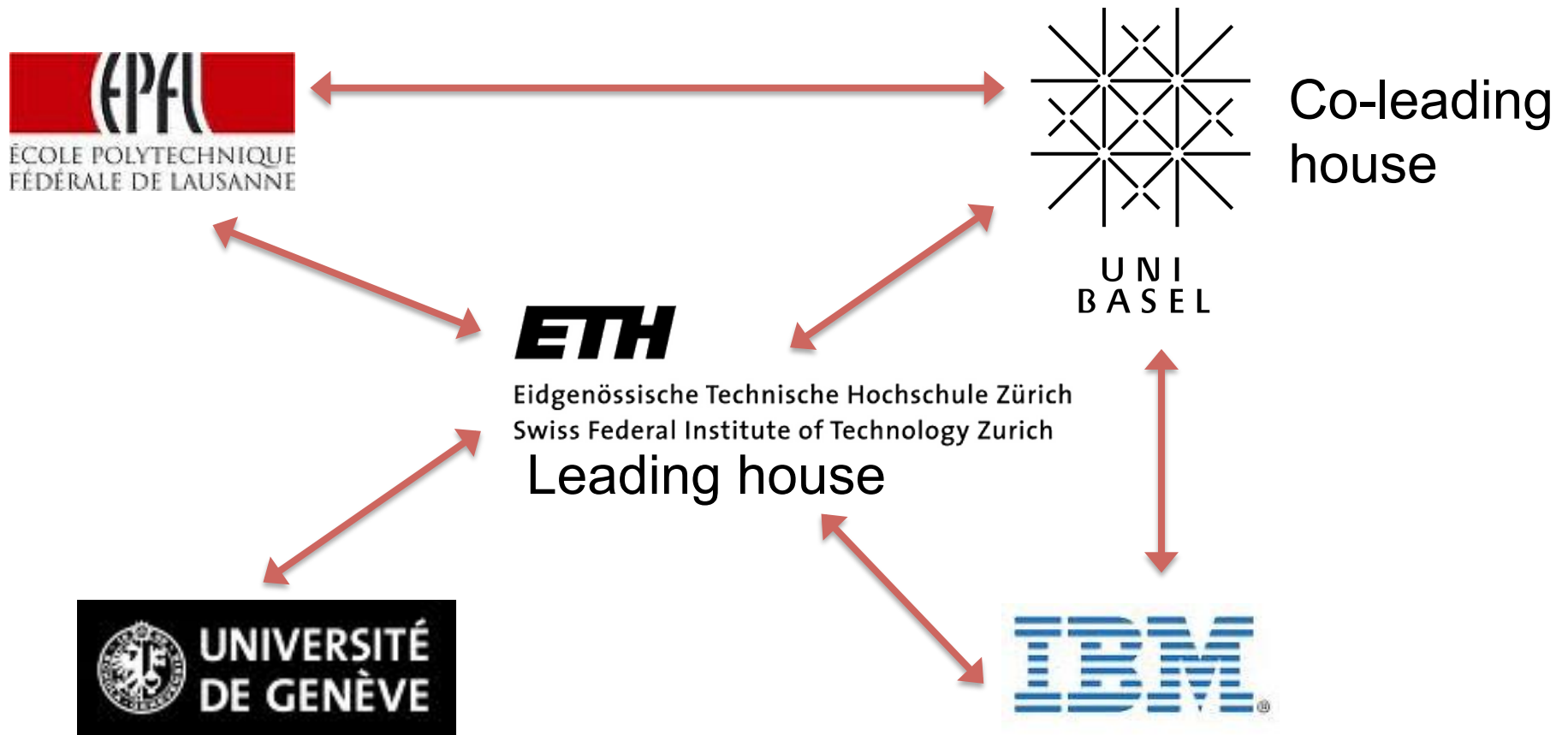
Coulomb crystal of cold ions



quantum cryptography



Structure of QSIT



Klassischer Computer

Information ist in Einheiten von bits gespeichert:
(0) und (1)

Vergleich **Dezimal-System** – **Binärsystem**:

$$0 - 0$$

$$1 - 1$$

$$2 = 2 \cdot 10^0 - 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0$$

$$3 = 3 \cdot 10^0 - 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$$

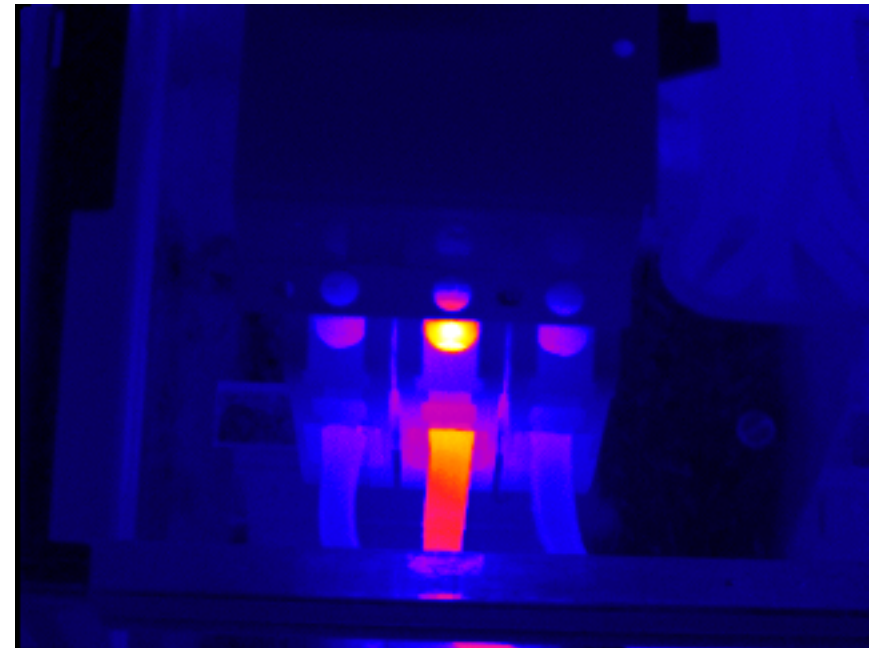
Schalten

Mit Wasser:



Wasserhahn
„ein – aus“

Mit Strom:



elektrischer Schalter
(Bsp. Sicherung)

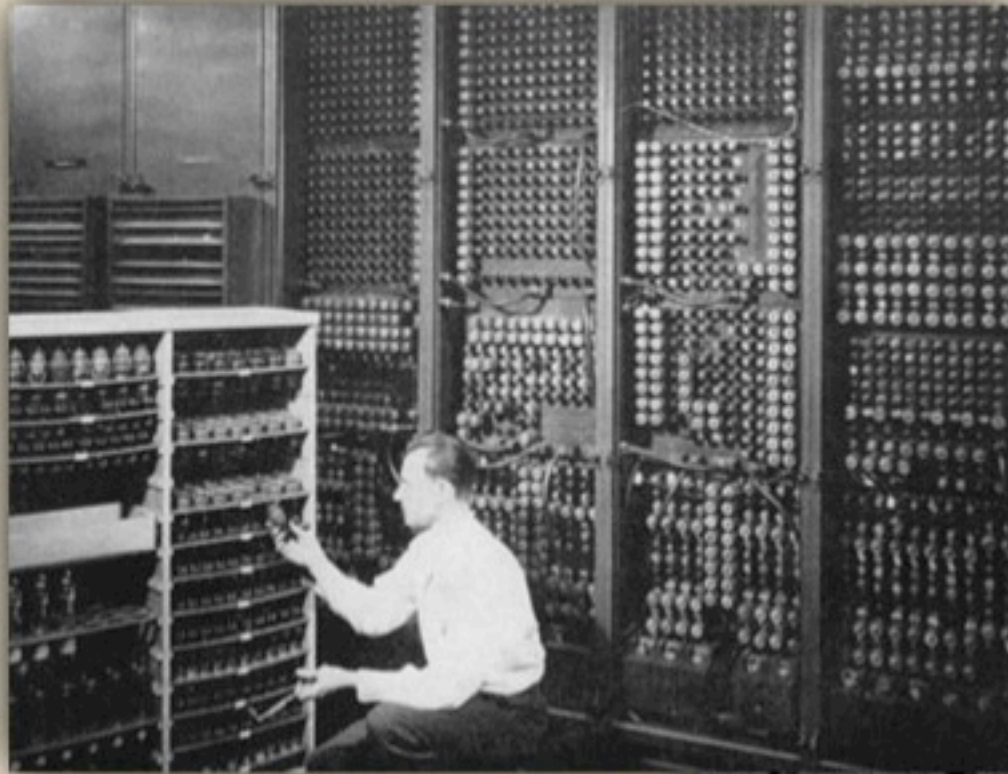
Rechnen durch Schalten

Jede Information wird in eine Folge von „1“ und „0“ zerlegt:

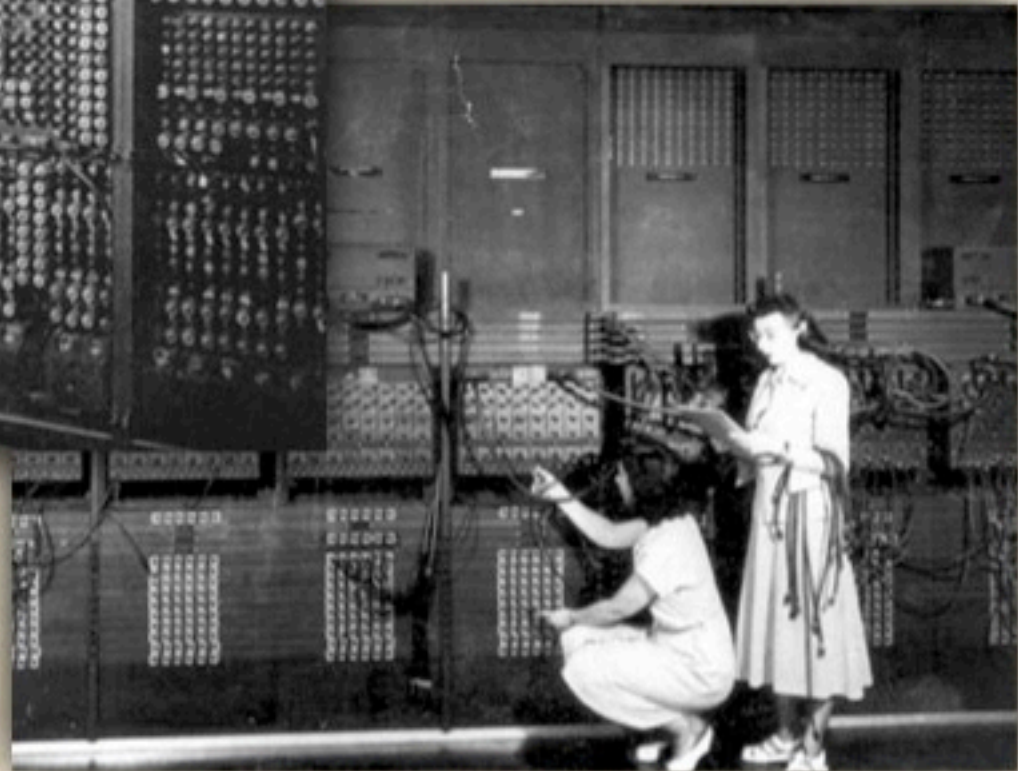
00111010100110011010000

Der Computer verarbeitet diese Information durch „Schalten“ von Strömen
-> Transistor

ENIAC circa 1947



Schalten mit
Röhren



ENIAC Parameter

Wie gross:

- 17,468 Vakuum-Röhren
1,500 Schalter
- 30 Tonnen
600 Kubikmeter
- 174 Kilowatt
(233 PS)
- 5,000 Additionen/Sek.
(~ wie Intel 4004)
- 5.25 MJoule/Rechnung
(~ grosse Kanone)

ENIAC Parameter

Wie gross:

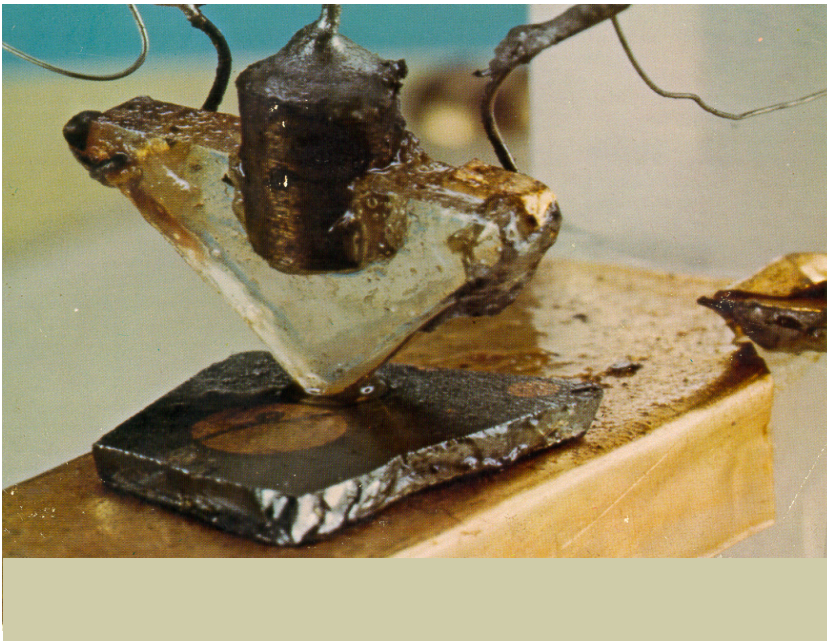
- 17,468 Vakuum-Röhren
1,500 Schalter
- 30 Tonnen
600 Kubikmeter
- 174 Kilowatt
(233 PS)
- 5,000 Additionen/Sek.
(~ wie Intel 4004)
- 5.25 MJoule/Rechnung
(~ grosse Kanone)

Vorhersagen (1949)

- 15,000 Vakuum-Röhren
- 10 Kilowatt
- 1.5 Tonnen
(~ Grösse eines Autos)

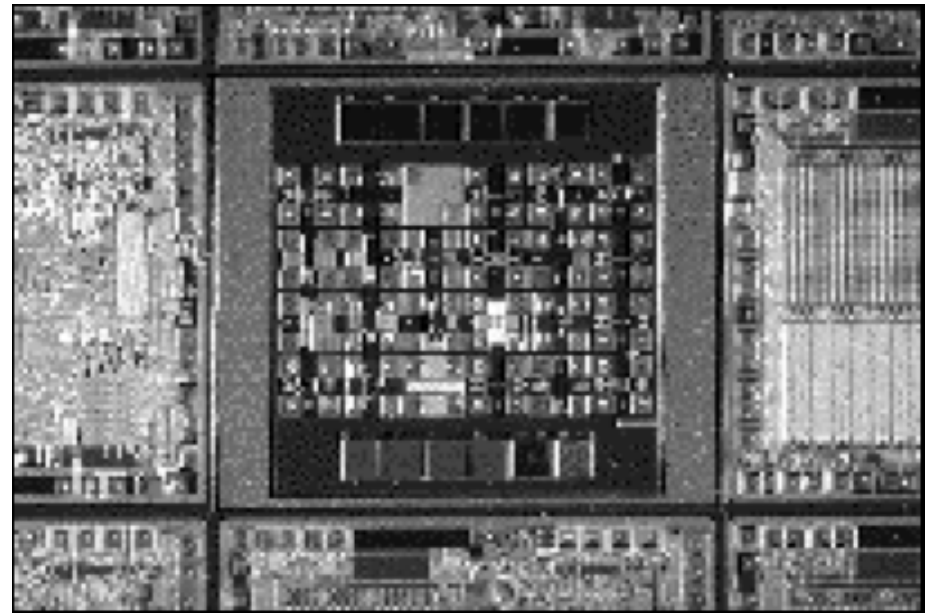
Schalten im Computer

1. Transistor



1948

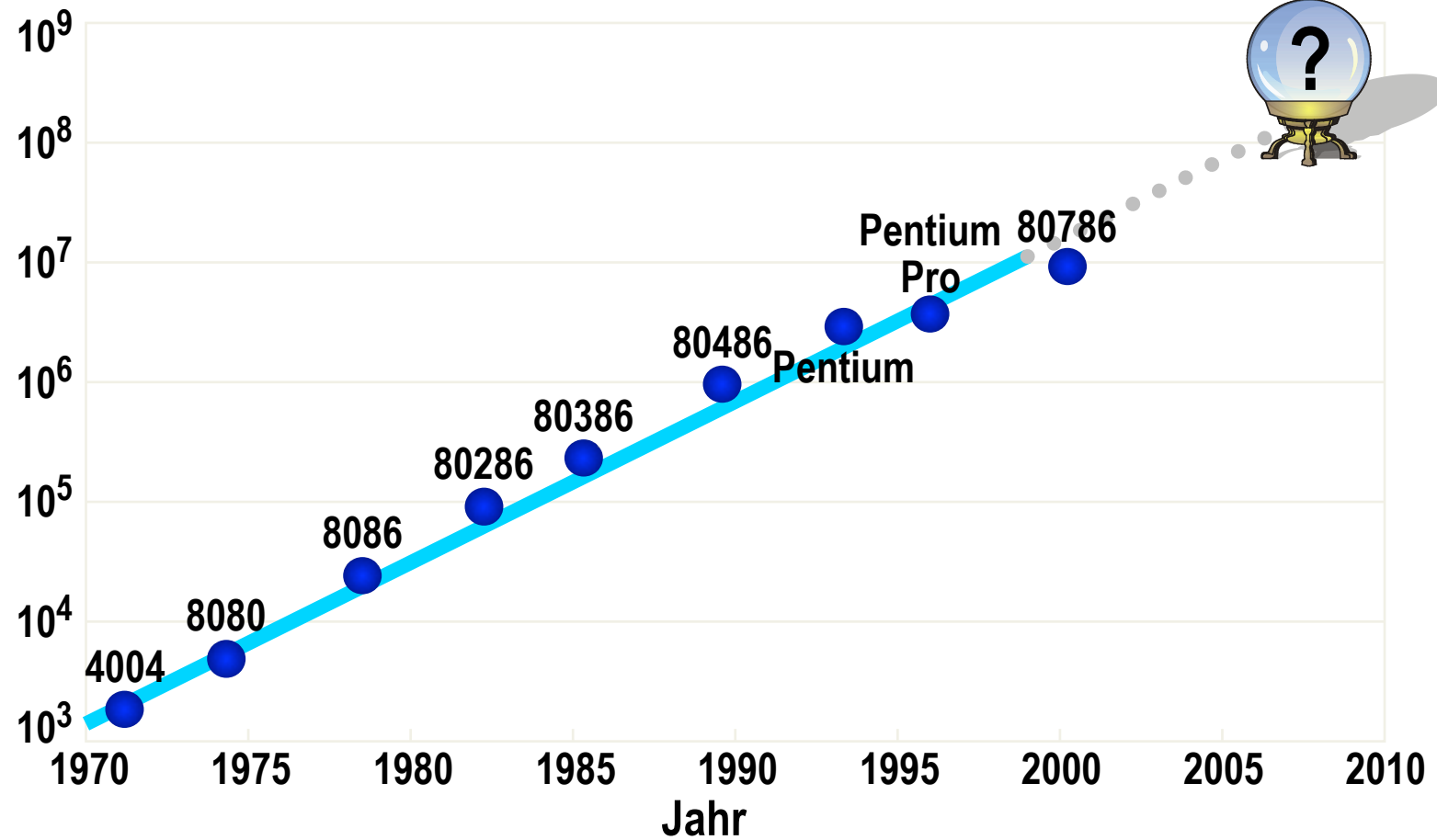
typischer Computer Chip



ca. 2013

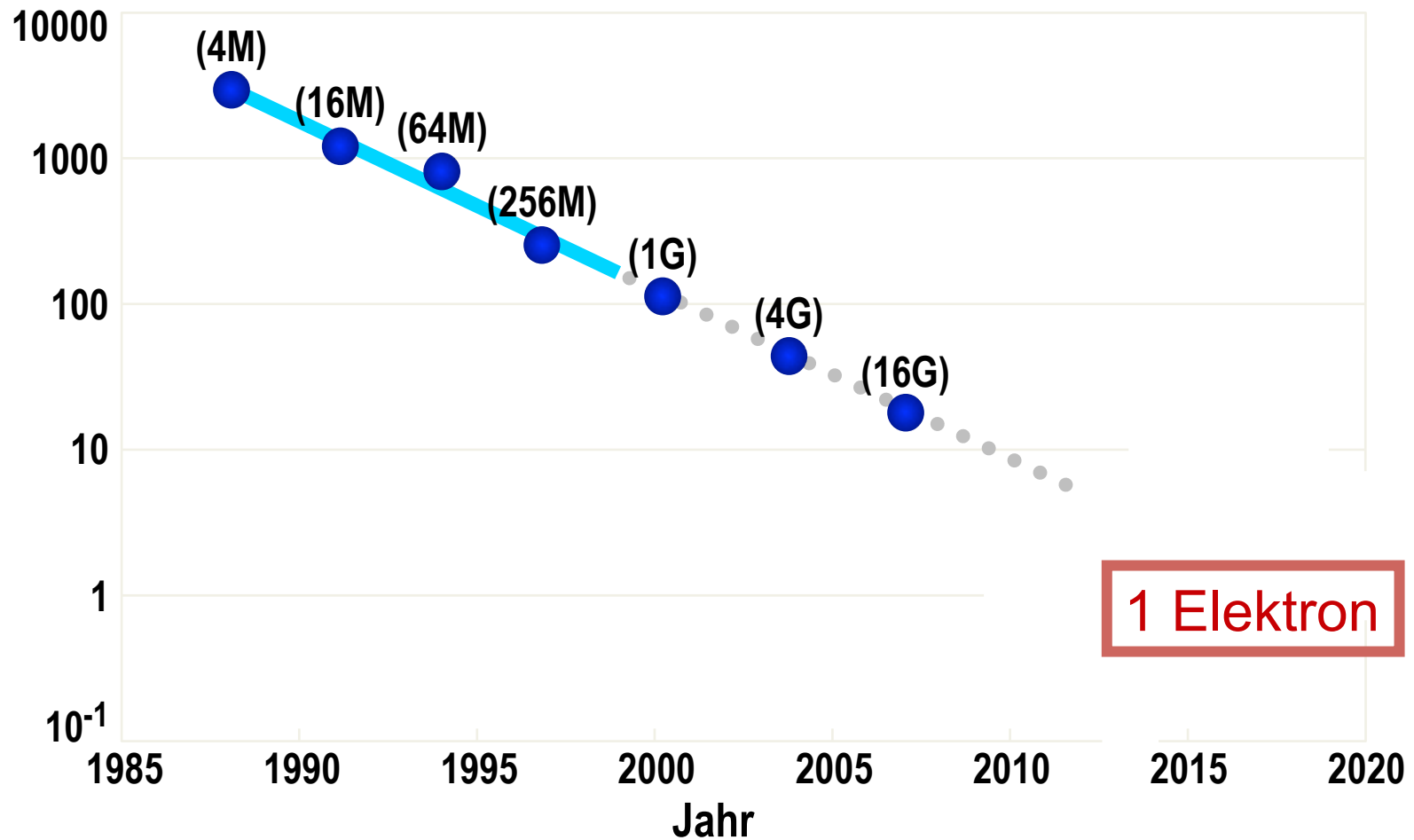
Moore'sches Gesetz

Transistoren pro Chip



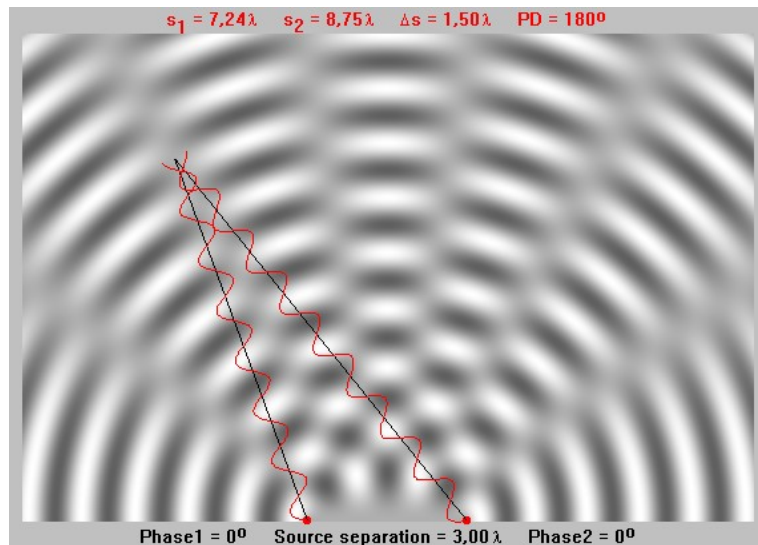
2. Moore'sches Gesetz

Elektronen pro Transistor

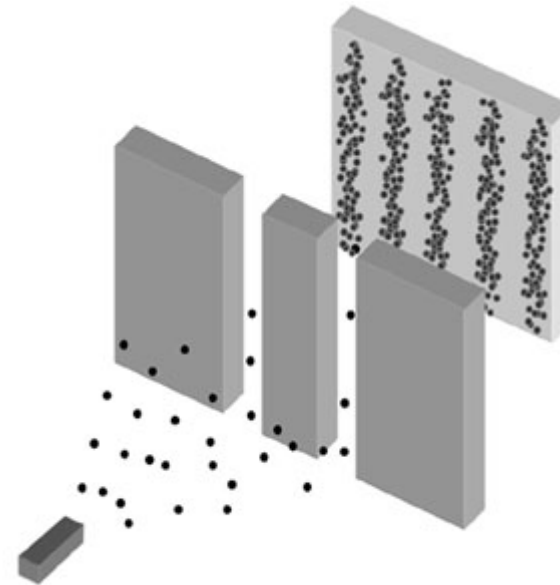


Quanten-Technologie

Beispiel: Interferenz von Materie-Wellen

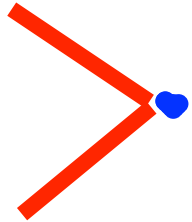


Zwei Steine werden ins Wasser
geworfen:
Interferenz von Wasserwellen



Teilchen durch
einen Doppelspalt

Klassische Korrelation



Quelle

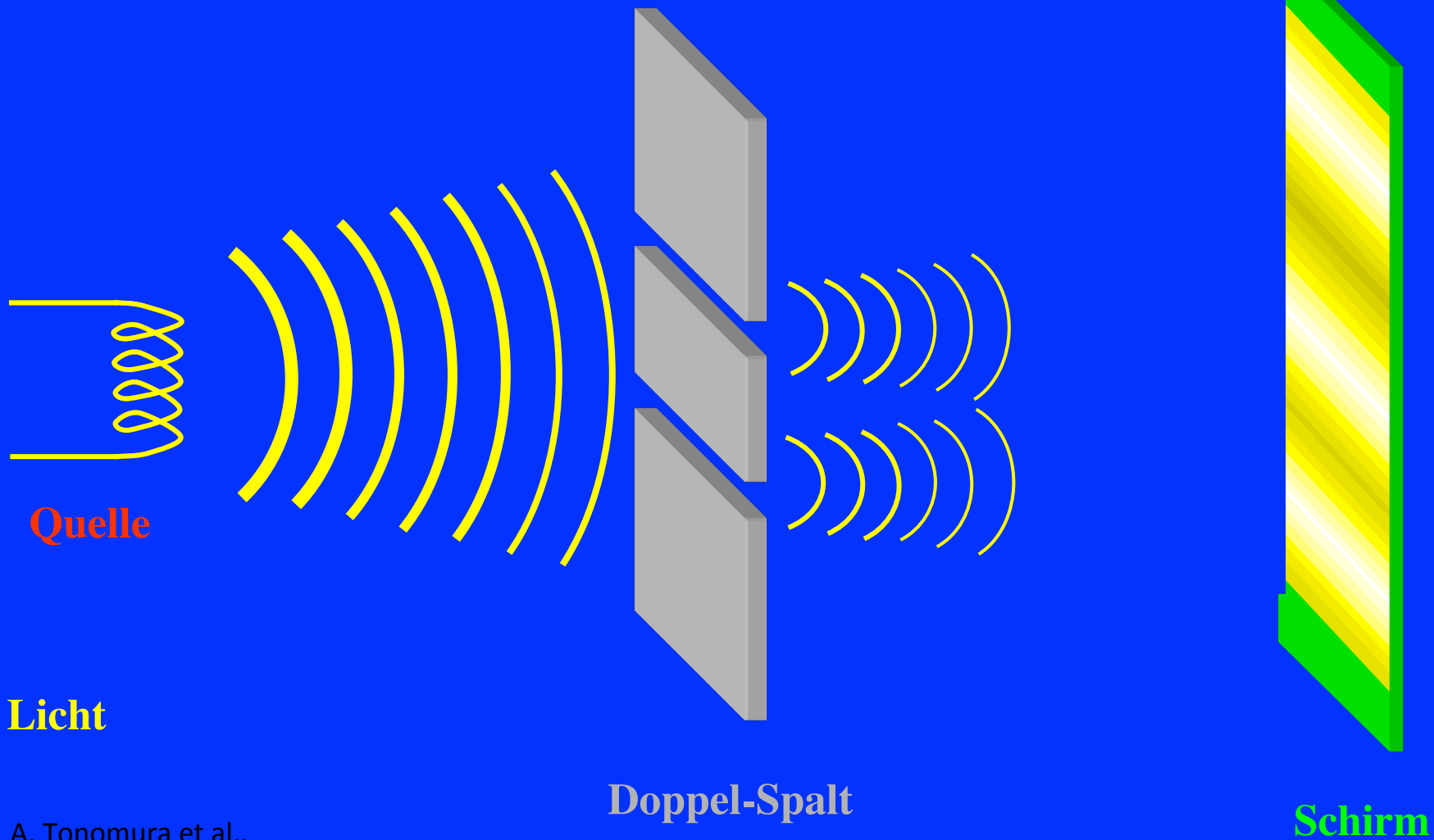
Doppelspalt



Bildschirm

Waves

The double slit experiment



Quelle

Licht

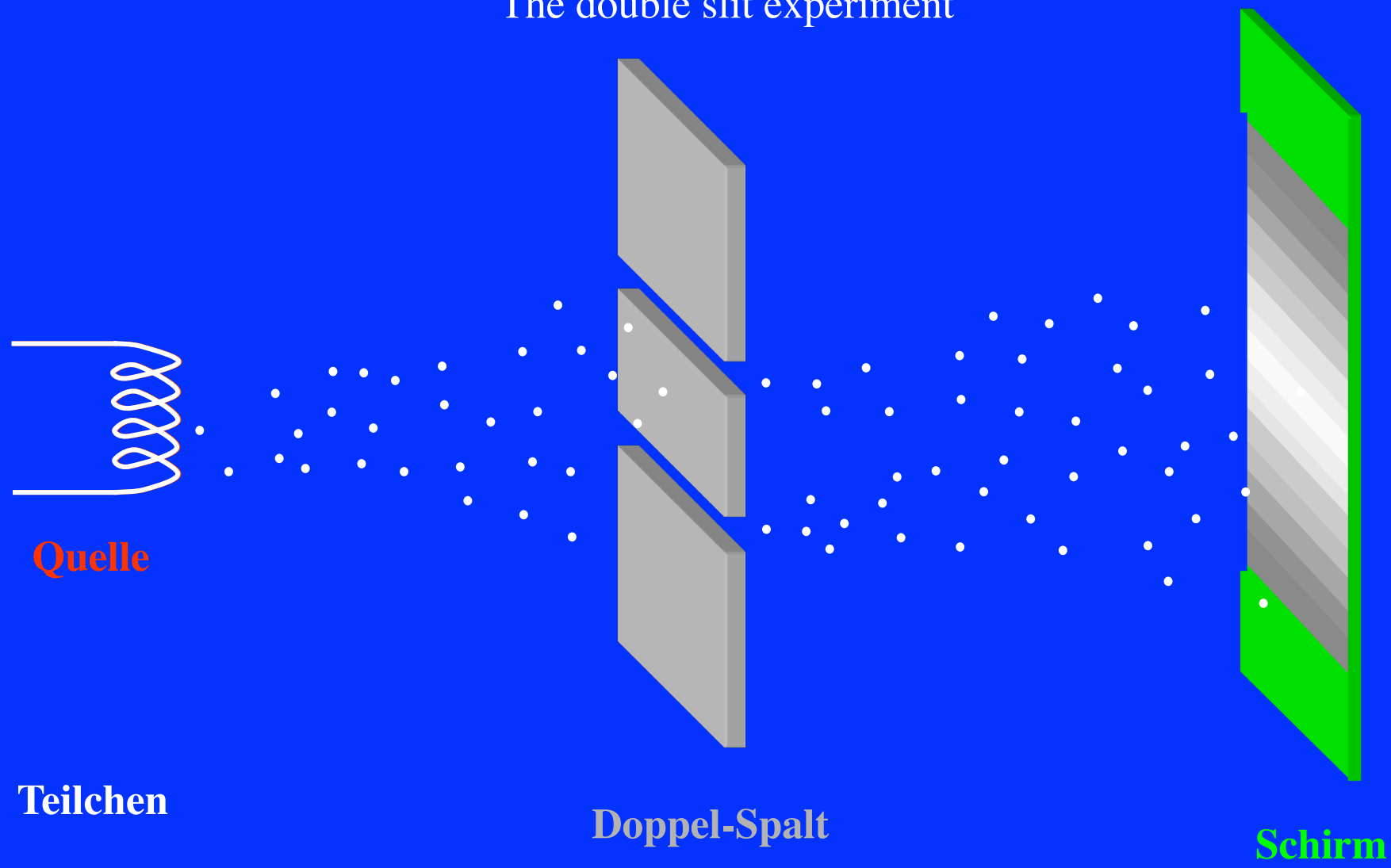
Doppel-Spalt

Schirm

A. Tonomura et al.,
American Journal of Physics 57 117-120 (1989)

Waves

The double slit experiment



Quelle

Teilchen

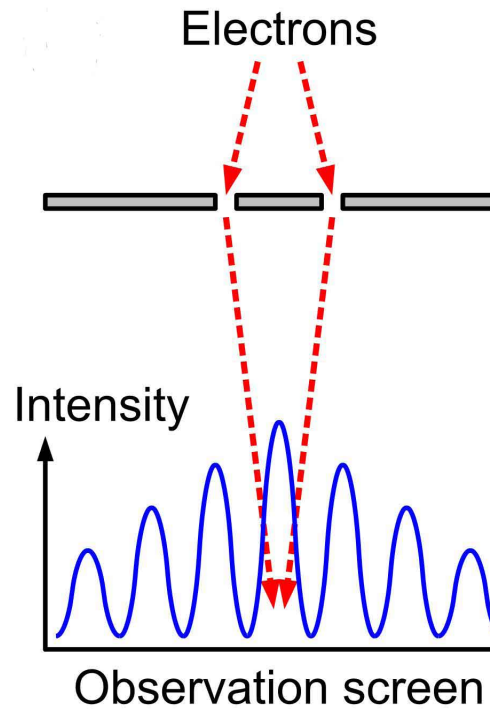
Doppel-Spalt

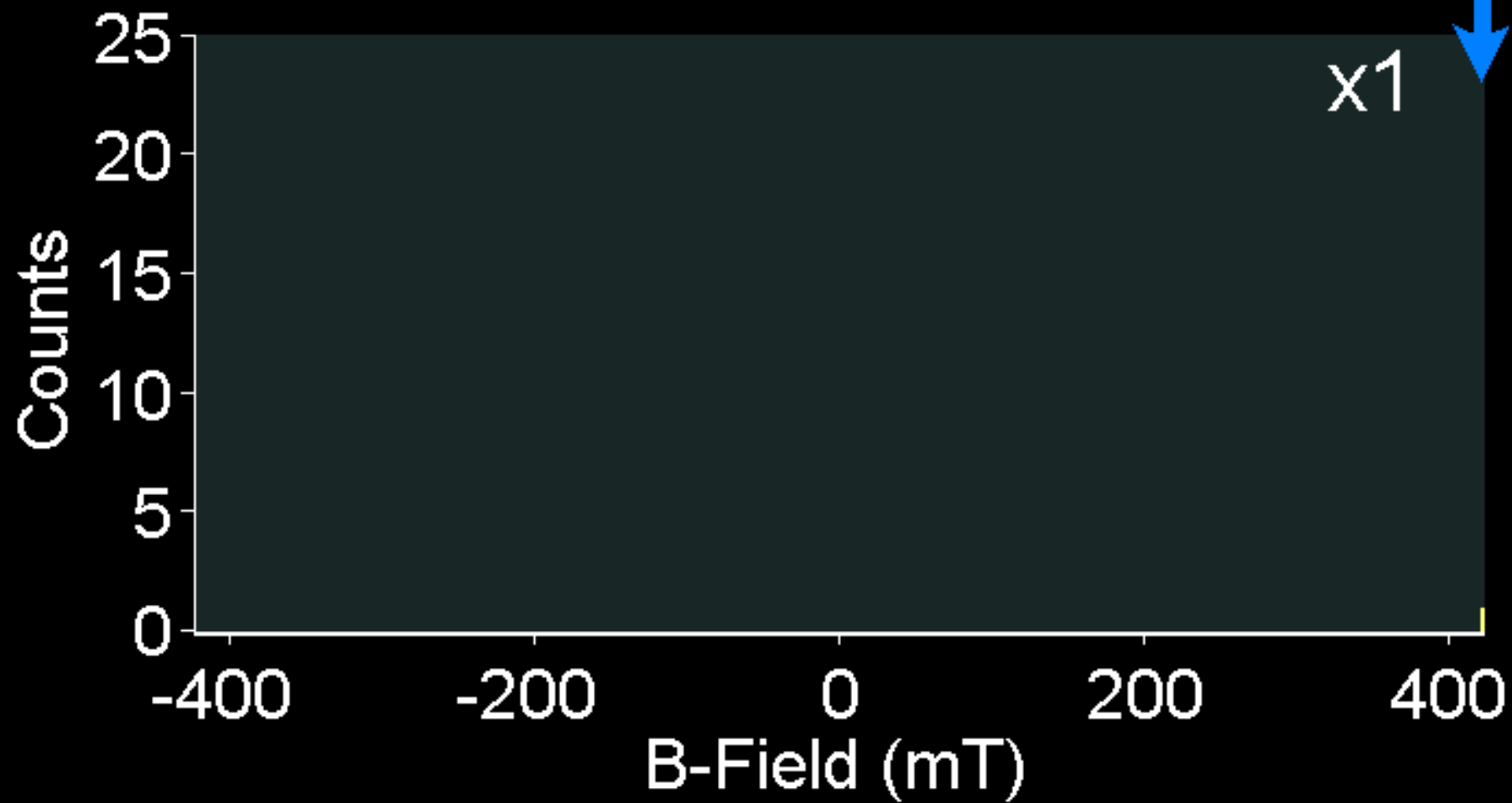
Schirm



Jedes Teilchen ist durch
beide Spalte
GLEICHZEITIG
gelaufen

Interferenz auf einem Halbleiter Chip





Simon Gustavsson

Quanten-Computer

Ein quantenmechanischer
Zustand ist in (0) und (1)
- bis er gemessen wird

Beispiel: Schrödingers Katze

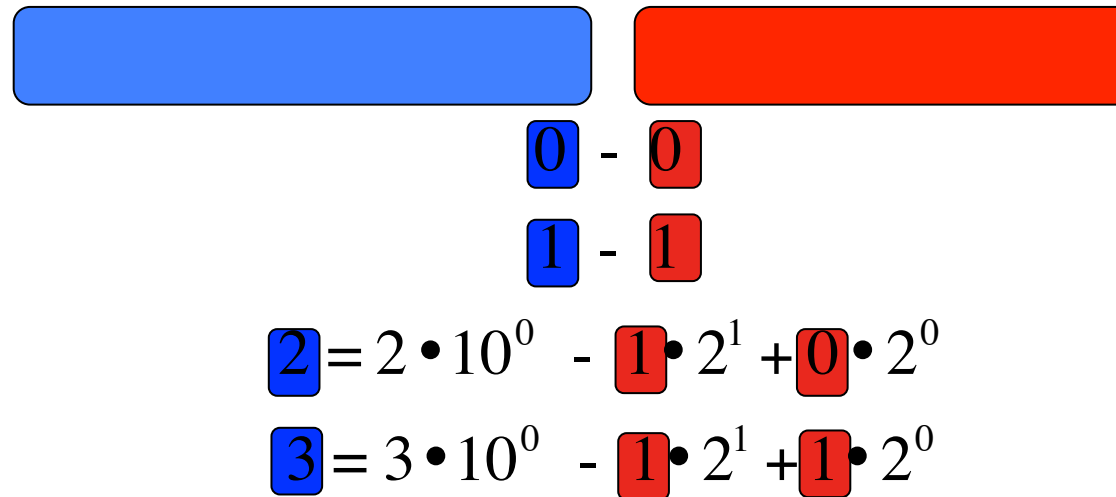
Katze mit Sprengstoff in einem
Koffer, gezündet wird durch
einen radioaktiven Zerfall



Klassischer Computer

Information ist in Einheiten von bits gespeichert: (0) und (1)

Vergleich Dezimal-System – Binärsystem:



Quanten-Computer

Information ist in Einheiten von qubits gespeichert:
gleichzeitig (0) und (1)

Klassischer Computer

Bits:

Entweder (0) oder (1)

Seriell: addiert eine Nummer nach der anderen

Inkohärent, keine Interferenz (Billard-Kugeln)

Quanten-Computer

Qubits:

Sowohl (0) als auch (1)

Parallel: verarbeitet Daten gleichzeitig

Kohärent, Überlagerung (Wasserwellen)

Quanten-Computer

Wozu soll das gut sein?

z.B. inverses Telefonbuch-Problem



Allgemein: Datenbank-Suche

Quanten-Computer

Wozu soll das gut sein?

Primfaktor-Zerlegung

$$15 = 5 \times 3$$

$$51 = 17 \times 3$$

$$1053 = ??????????$$

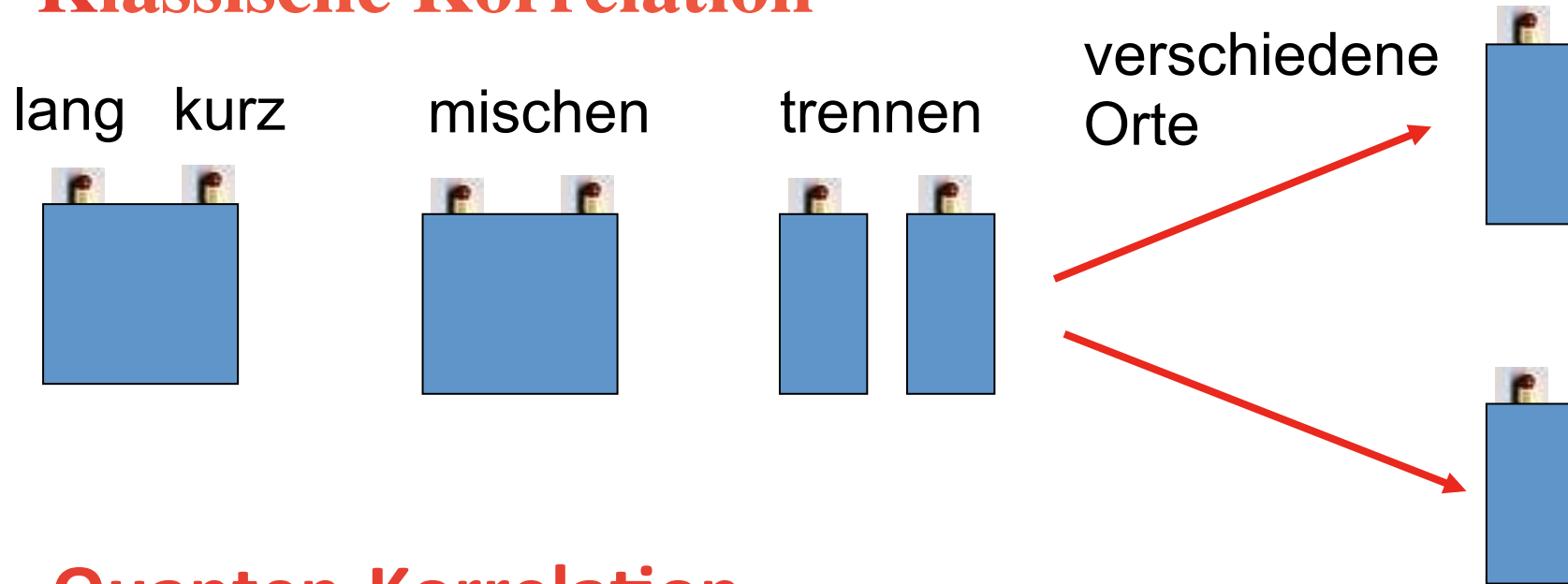
Primfaktor-Zerlegung wird seriell gelöst,
eine-Zahl-nach-der-anderen

Schwierig für einen herkömmlichen Computer !!!!!

Einfach für einen Quanten-Computer, parallel !!

Kryptography!

Klassische Korrelation



Quanten-Korrelation

Ist wesentlich stärker und kann gemessen werden

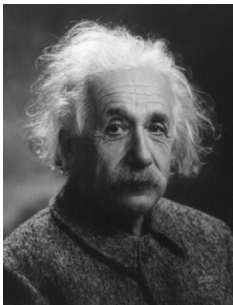
Anwendung: Quanten-Kryptographie, Daten-Verschlüsselung

Aussagen über Quantenmechanik



Erwin Schrödinger:

“Ich mag es nicht, und es ist mir unangenehm, dass ich jemals etwas damit zu tun hatte.”



Albert Einstein:

“Wunderbar, welche Ideen die jungen Leute heutzutage haben. Aber ich glaube kein Wort davon.”



Richard Feynman:

“Ich denke, dass man mit Sicherheit sagen kann, dass niemand die Quantenmechanik versteht.”

Viel Spass mit der Physik



„Das Erstaunlichste an der Welt ist, dass man sie verstehen kann.“