

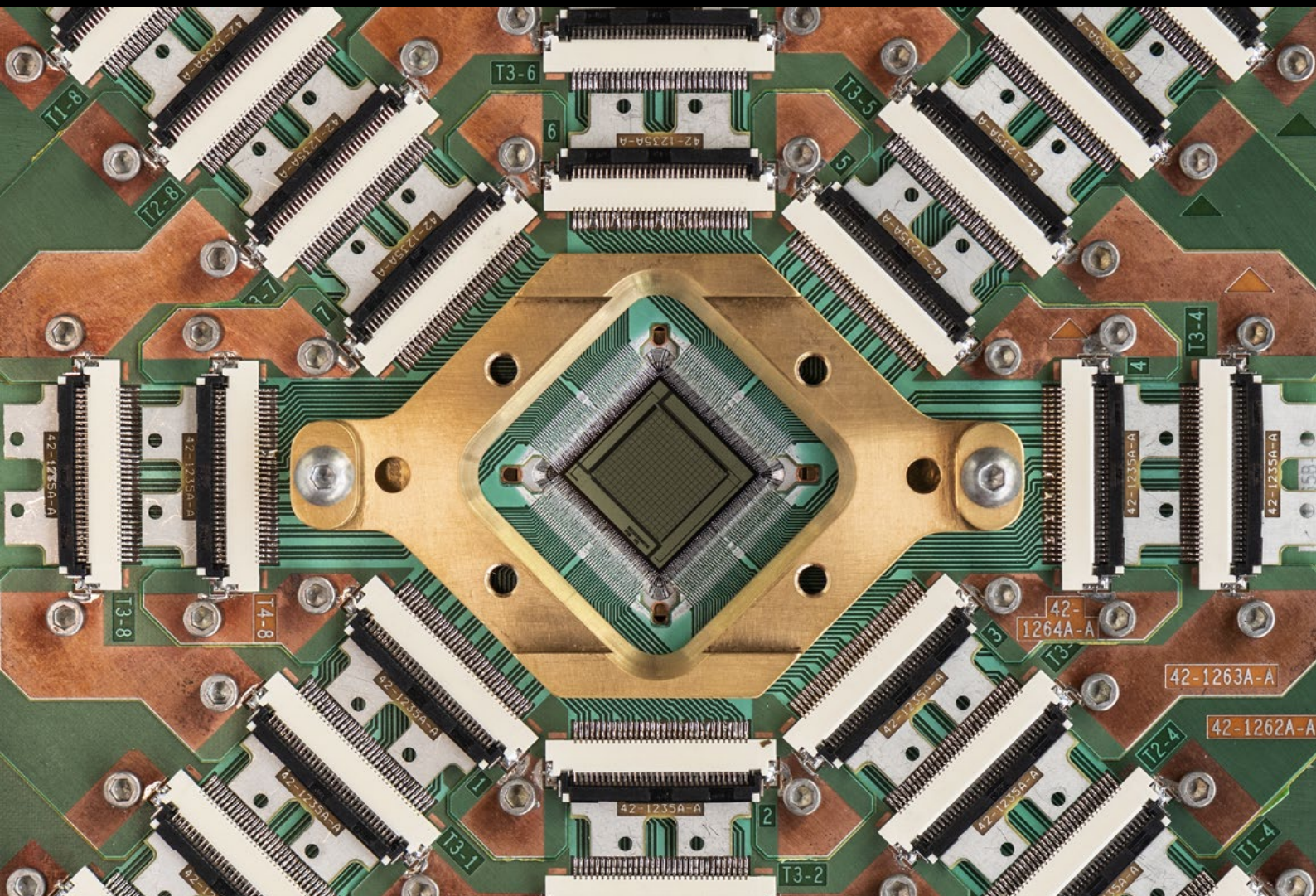


Januar 2023

29. Jg./Nr. 1 ISSN 2624-6023 (Print), ISSN 2624-6031 (Online) Einzelpreis CHF 12.– (Abo im Mitgliederbeitrag enthalten)

Die Zeitschrift der Macintosh Users Switzerland

We share knowledge.



Von der Teilchenphysik zur Rechenpower Quantencomputer sind im Kommen

Die Schweiz
aus vertikaler Sicht

▶▶▶ Seite 10

Schnelle Kameras
im Test

▶▶▶ Seite 18

MUS-Fotowettbewerb
statt Winterpause

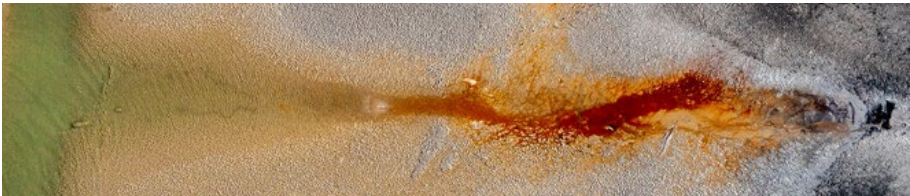
▶▶▶ Seite 21

Inhalt

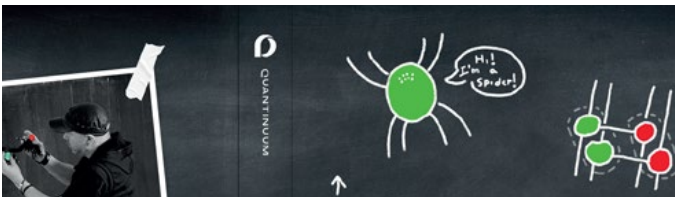
- 3 **Editorial** > Ein Quantensprung in andere Dimensionen
- 4 **Technologie** > Von der Teilchenphysik zur Rechenpower



- 10 **Fotografie** > Die Schweiz aus vertikaler Sicht



- 17 **Fotografie** > Wie sieht die Wirklichkeit aus?
- 18 **Fototechnik** > Schnelle Kameras im Test: Nikon Z 9 und Sony α1
- 21 **Interna** > MUS-Fotowettbewerb statt Winterpause
- 22 **Bücher** > Geistige Herausforderungen und wie man sie meistert



- 22 **Macintosh Users Switzerland** > Angebot / Mitglied werden
- 23 **Veräppelt** > Einstein und die Quantenmechanik



Impressum **MUS**falter

ISSN 2624-6023 (Print)
ISSN 2624-6031 (Online)

Herausgeber

Macintosh Users Switzerland (MUS),
8703 Erlenbach

Auflage, Erscheinungsweise

600 Exemplare, 2× jährlich (jeweils im
Januar und Juni)

Preis

Einzelexemplar CHF 12.-; das Abo ist im
MUS-Mitgliederbeitrag enthalten

Titelbild

Das Herzstück eines Quanten-Annealers
«Advantage» mit über 5000 Qubits.
Bild: D-Wave Quantum Inc., Burnaby, B.C.

Redaktion

polygrafix.ch Eric A. Soder, 8610 Uster
Telefon 044 994 43 77
E-Mail redaktion@mus.ch

MitarbeiterInnen:

Marcel Büchi, Ellen Kuchinka, Graziano
Orsi, Werner Widmer

Online-Redaktion www.mus.ch:

Graziano Orsi, graziano.orsi@mus.ch

Nächster Redaktionsschluss

31. Mai 2023

Produktion

Layout und Vorstufe:

polygrafix.ch Eric A. Soder, 8610 Uster
Druck: Ediprim AG, 2501 Biel



myclimate.org/01-23-495543



Sekretariat

Macintosh Users Switzerland (MUS),
8703 Erlenbach

Telefon 044 915 77 66

E-Mail sekretariat@mus.ch

Geschäftszeiten: Montag bis Freitag
von 9 bis 12 Uhr und von 14 bis 17 Uhr

Ein Quantensprung in andere Dimensionen

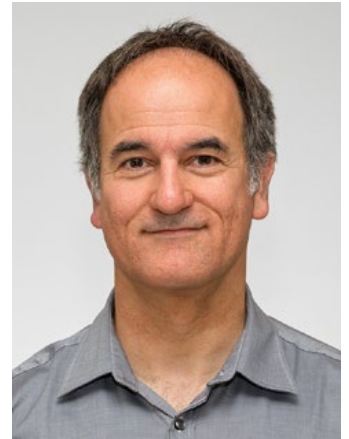
Liebe MUS-Mitglieder

Schon seit den Philosophen der alten Griechen begleitet ein Gedanke die Menschheit: Alle Materie besteht aus winzigen Bausteinen, den Atomen. Lange hielt die Wissenschaft sie für unteilbar, bis die Chemie ab 1869 dem Periodensystem auf die Spur kam und später durch die regelmässigen Sprünge in den Atommassen der Elemente ein neues Modell entwickelte: Atome bestehen aus einem Kern mit Protonen und Neutronen sowie einer oder mehreren Schalen mit Elektronen, welche um den Atomkern kreisen. Dann entdeckte man den radioaktiven Zerfall und verfeinerte das Modell nach und nach um weitere Elementarteilchen, aus denen Protonen, Neutronen und gewisse Arten von Strahlung bestehen. Die Physik fand bei genauerer Betrachtung einiger Effekte Ungereimtheiten, die sich mit der klassischen Mechanik nicht erklä-

ren liessen. Albert Einstein veröffentlichte zwischen 1905 und 1915 die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie mit dem Konzept der gekrümmten Raumzeit. Dieses vierdimensionale Modell liefert durch eine neue geometrische Interpretation eine schlüssige Erklärung für die Gravitation und bestätigt die Äquivalenz von Masse und Energie. Das nämlich besagt die bekannte Formel $E=mc^2$.

* * *

Zwischen 1925 und 1932 erarbeiteten diverse Physiker die Grundlagen der Quantenmechanik. Damit lassen sich subatomare Vorgänge erklären, die nicht den Gesetzen der klassischen Physik folgen. Einstein vermutete, dass in der Quantenmechanik noch etwas fehlt, das die beiden Eckpfeiler der modernen Physik verbindet. Einige Details geben der Wissenschaft noch heute Rätsel auf; inzwischen haben die mathematischen



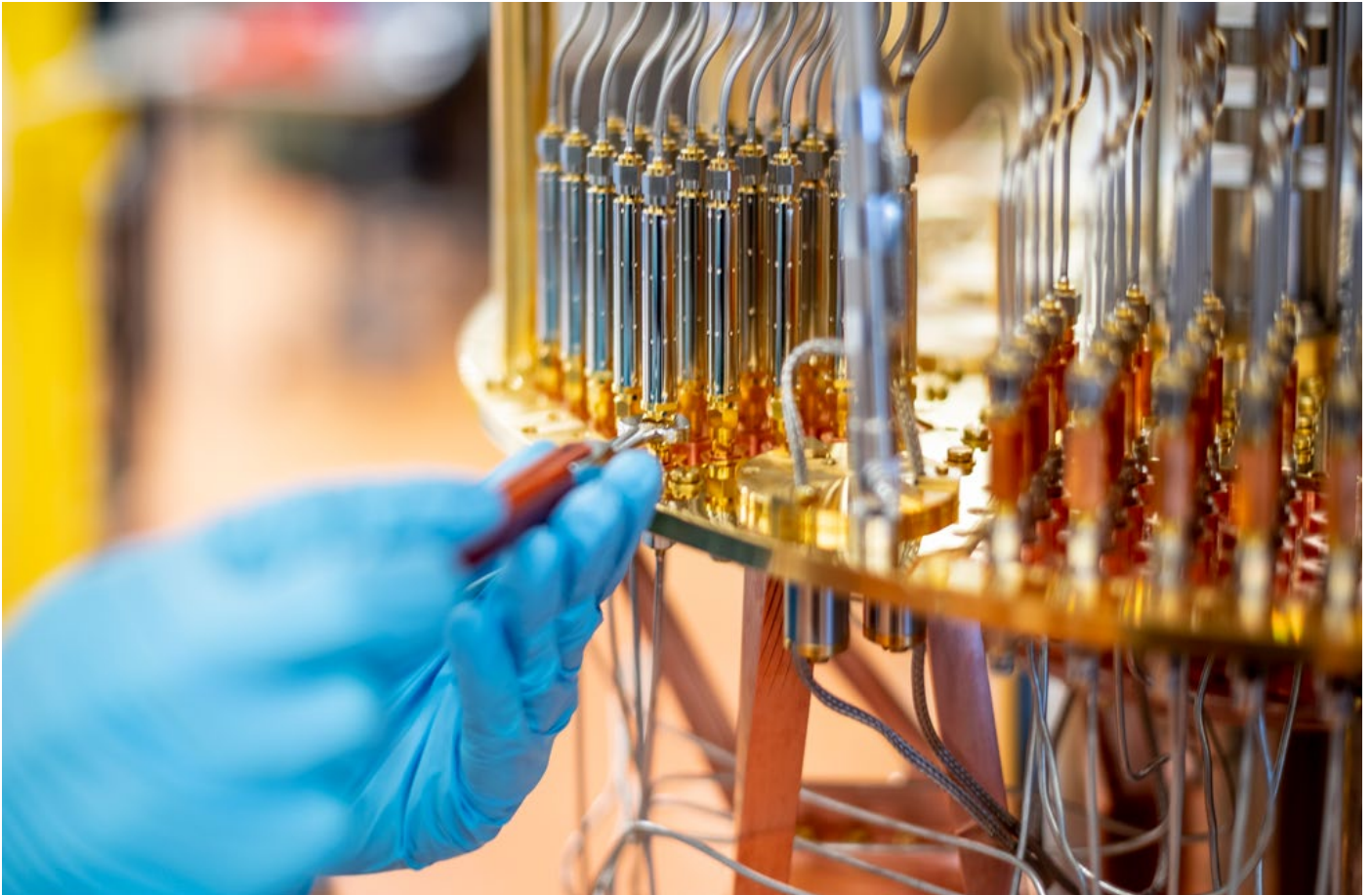
Modelle teils zehn oder mehr Dimensionen. Derweil forscht man aber auch intensiv an und mit Quantencomputern. Es sieht vielversprechend aus.

Herzlich
Euer MUSfalter-Redaktor
Eric A. Soder



Hier bei uptownBasel in Arlesheim wurde im Dezember 2022 das Kompetenzzentrum «QuantumBasel» eröffnet. Foto: DesignRaum GmbH

Von der Teilchenphysik zur Rechenpower



Leitungen aus speziellen Materialien speisen den Quantenprozessor, der fast bei $-273,15^{\circ}\text{C}$ (o K) arbeitet. Foto: Daniel Winkler/ETH Zürich

Die Idee eines Quantencomputers geht teils auf den Physiker und Nobelpreisträger Richard P. Feynman zurück. Im Mai 1981 hielt er eine Keynote zum Thema „Simulating Physics with Computers“. Darin beschrieb er einen universalen Quantensimulator: eine Maschine, die quantenmechanische Effekte nutzt, um andere solche Effekte zu simulieren, die normale Computer gar nicht berechnen können.

■ Eric A. Soder

Feynmans Idee fiel auf fruchtbaren Boden. Die Natur – im Speziellen die Quantenmechanik – lässt sich am besten mit einem Computer simulieren und be-

rechnen, der nach dem gleichen Prinzip arbeitet wie die Natur. So einleuchtend die Theorie ist, so anspruchsvoll ist die praktische Umsetzung solch eines neuartigen Computers.

Quanten-Bits mit Überlagerung und Wahrscheinlichkeiten

Die Überlagerung (Superposition) von zwei möglichen Zuständen ist eine der Grundlagen für Quantencomputer. Ein Bit in einem klassischen Computer ist stets eindeutig bestimmt: Es hat entweder den Wert null oder den Wert eins. In der Quantenmechanik dagegen erhält man erst dann einen eindeutigen Zustand des Objekts, wenn man eine «Messung» durchführt. Vorher ist der Zustand unbestimmt: Wenn für dieses

Objekt zwei physikalische Zustände möglich sind, kennt man vor der Messung höchstens die Wahrscheinlichkeit, dass die Messung den einen oder den anderen Zustand ergibt. Zum Beispiel kann der Spin eines Elektrons bei der Messung entweder den Zustand «up» oder «down» haben. In der Überlagerung vor der Messung sind beide Zustände gleich wahrscheinlich, und das Ergebnis der Messung lässt sich nicht vorhersagen.

Diese Eigenschaft bedeutet für Quanten-Bits – kurz: Qubits –, dass sich durch die Überlagerung alle möglichen Zustände gleichzeitig codieren lassen. In acht Qubits können also alle Zahlen von 0 bis 255 überlagert sein, und erst bei der Messung erhält man eine dieser

Zahlen als Ergebnis. Nun ist es aber nicht so, dass man damit für ein Problem alle Möglichkeiten auf einmal durchprobieren kann und dann in einem Durchgang die richtige Lösung erhält, während ein klassischer Computer in 256 Durchgängen jeweils eine Zahl in 8 Bits eines Registers schreiben und die jeweilige Berechnung durchführen muss. Ob die Überlagerung bei einer Berechnung Vorteile bringt oder nicht, das hängt ganz wesentlich davon ab, wie eine Aufgabe für den Quantencomputer «formuliert» wird. Zustände von Qubits bieten hierfür mehr Möglichkeiten als binäre Bits, und Quantenalgorithmen müssen diese Eigenheiten sinnvoll nutzen. Dennoch stellen auch Qubits normale Zahlenwerte wie gewohnt mit einer festen Binärfolge dar, also ohne Überlagerung. In Berechnungen lassen sich Qubits mit vorbestimmtem oder überlagertem Zustand gemischt einsetzen. Das gilt ebenso für Qubits, die als Speicher dienen.

Analog oder digital?

Klassische Computer verarbeiten jegliche Information als binäre Bitfolge und somit immer digital und sequenziell, das heisst, Schritt für Schritt in einer festen zeitlichen Abfolge. Diese ergibt sich aus der Reihenfolge der Schaltungen beziehungsweise der Programmschritte.

Im Gegensatz dazu steht bei Qubits nicht von vornherein fest, wie man sie zum Rechnen verwenden muss. Die Logik der Programme folgt anderen Regeln, und es braucht neue Algorithmen, um Aufgaben abzubilden und zu lösen.

Quanteneffekte sind natürlicherweise analog. Je nach Bauart des Computers lassen sich Qubits teils auch analog nutzen, um Probleme geometrisch zu lösen, statt mit Zahlen. Mögliche Anwendungsgebiete für analoge Quantencomputer sind zum Beispiel Optimierungsaufgaben wie das «Traveling Salesman Problem» in der Logistik, bei dem es darum geht, die optimale Route

eines Handelsreisenden oder einer Lieferfahrt mit allen vorgegebenen Haltepunkten zu ermitteln. Oder Anwendungen in den Materialwissenschaften und beim maschinellen Lernen.

Die andere Möglichkeit ist das digitale Rechnen mit Qubits und Schaltungen, ähnlich wie bei einem klassischen Computer. Aufgrund der Überlagerung kommen beim Rechnen mit Qubits auch andere Schaltungen zum Einsatz als bei normalen Bits.

Ein Quantencomputer erzielt bei bestimmten Klassen von Berechnungen eine sehr hohe Rechenleistung durch den so genannten Quantenparallelismus. Zu dessen Erklärung schauen wir uns zuerst noch einen weiteren quantenmechanischen Effekt an, der eine wichtige Rolle spielt.

Die Verschränkung

Wirken zwei Quantenobjekte aufeinander ein, entsteht in bestimmten Fällen ein verschränkter Zustand. Zum Beispiel bei der Kollision von Elementarteilchen, die sich danach von einander abhängig weiter bewegen. Durch die Verschränkung kennt man bei der Messung eines der Teilchen augenblicklich auch den jeweiligen abhängigen Zustand aller anderen mit ihm verschränkten Teilchen. Dies sogar unabhängig davon, in welcher Entfernung sich die Teilchen voneinander befinden und in welchem Zeitabstand die Messungen erfolgen. Insbesondere kann der Zeitabstand der Messungen auch kürzer sein als die nötige Zeitspanne, um die Entfernung zwischen den Teilchen mit Lichtgeschwindigkeit zurückzulegen.

Die Deutung dieses Effekts war lange umstritten. Einstein erklärte, dass er nicht an eine solche «spukhafte Fernwirkung» glaube. Denn die Gesetze der Physik verbieten, dass Teilchen schneller als mit Lichtgeschwindigkeit miteinander kommunizieren. 1935 formulierte Albert Einstein zusammen mit Boris Podolsky und Nathan Rosen das EPR-Paradoxon, mit dem die drei argumentierten, dass die Quantenmechanik keine vollständige Theorie sei, weil die gleichzeitige und genaue Bestimmung der verschränkten Zustände im Widerspruch zu Heisenbergs Unschärferrelation stehe – einer der Grundlagen der Quantenphysik. Dazu passt ein bekanntes Zitat von Feynman: «Ich denke, ich kann sicher sagen, dass niemand die Quantenmecha-



Die kanadische Firma D-Wave bietet schon seit Jahren kommerzielle Quanten-Annealer an. Im Bild ein Advantage-System, ein analoger, nicht universeller Quantencomputer mit über 5000 Qubits. Ein solcher steht im deutschen Forschungszentrum Jülich. Foto: D-Wave

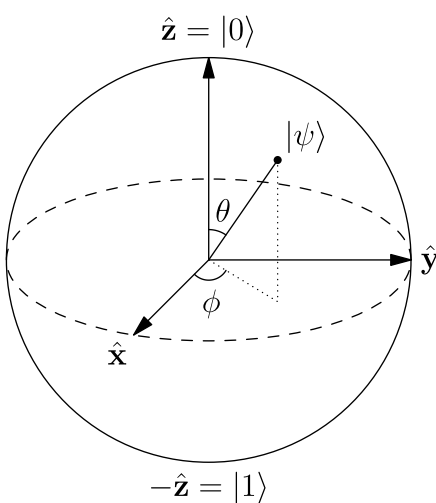
nik versteht.» Eine erstaunliche Aussage aus dem Mund eines der brilliantesten und mathematisch begabtesten Physiker des 20. Jahrhunderts.

Seither haben Experimente bestätigt, dass die Verschränkung jedoch tatsächlich existiert und so funktioniert wie beschrieben. Die drei Träger des Physik-Nobelpreises 2022, Alain Aspect, John F. Clauser und Anton Zeilinger, haben den Beweis erbracht und damit die Basis für die weitere Erforschung und die praktische Anwendung der Quantentechnologie gefestigt. Einstein lag also mit seinem Zweifel an der Verschränkung falsch. Die heutige Lehre erklärt den scheinbaren Widerspruch im EPR-Paradoxon so, dass zwei verschränkte Teilchen eben keine separaten Objekte mehr sind, sondern ein einziges System, das gleichzeitig an zwei verschiedenen Stellen im Universum existiert. Folglich kommuniziert es auch nicht mit «Überlichtgeschwindigkeit», weil innerhalb des Systems überhaupt keine Kommunikation nötig ist.

Die Verschränkung von Qubits ist der Schlüssel, um mit einem Quantencomputer spezielle Aufgaben zu lösen. Eine Gruppe Qubits kann man zum Beispiel so verschränken, dass sie zusammen nur Vielfache von Sechs ausgeben oder ausschliesslich Primzahlen. Mit einem solchen «Filter» lässt sich der Rechenaufwand mitunter gewaltig verringern.

Mathematische Modelle

Quantenmechanische Vorgänge lassen sich in mehrdimensionalen Räumen be-



Eine Bloch-Kugel zur 3D-Visualisierung von Quantenzuständen, etwa eines Elektrons oder eines Qubits. Transformationen entsprechen jeweils der Drehung des Vektors $|\psi\rangle$ um eine der Koordinatenachsen.

schreiben, wie im Editorial erwähnt. So kann man den Zustand eines Qubits vor der Messung als einen Einheitsvektor in der komplexen Zahlenebene verstehen: Das ist salopp ausgedrückt ein Pfeil mit der Länge eins, der vom Nullpunkt des Koordinatensystems ausgeht und in eine beliebige Richtung zeigt. Die x-Achse stellt dabei die reale Komponente dar und die y-Achse die imaginäre Komponente. Aus der Richtung des Vektors ergeben sich dabei die Wahrscheinlichkeiten, dass die Messung nach x oder nach y ausschlägt beziehungsweise ob das Qubit den Wert null oder eins erhält. Die Summe der beiden Wahrscheinlichkeiten ist immer eins, weil die Spitze des Pfeils ja auf einem Kreis mit Radius eins um den Nullpunkt liegt.

Eine weitere Art der Darstellung von Zuständen eines Qubits nutzt die Bloch-Kugel. Sie ist nach Felix Bloch benannt, einem Schweizer Physiker und Nobelpreisträger, der mehrheitlich in den USA forschte und 1954–1955 als erster Generaldirektor das CERN leitete. In der Bloch-Kugel lassen sich Zustände eines Qubits und Transformationen dieser Zustände in drei reellen Dimensionen anschaulicher darstellen als mit einem zweidimensionalen komplexen Vektor.

Mathematisch betrachtet liegen alle möglichen Zustandsvektoren in einem Hilbertraum. Für diesen gelten bestimmte Rechengesetze. So lassen sich Quantenoperationen mathematisch beschreiben, zum Beispiel die Umkehrung der Richtung des Vektors oder die Drehung um einen bestimmten Winkel. Für solche Berechnungen dient die Dirac-Notation, auch Bra-Ket-Notation genannt:

Ein Ket sieht so aus: $|\mathbf{n}\rangle$

Dabei ist $\mathbf{n}$ ein Spaltenvektor in einem Vektorraum oder eine Funktion in einem Hilbertraum. Für ein einzelnes Qubit hat der Vektor zwei Dimensionen, für jede steht eine komplexe Zahl. Diese wiederum hat eine reelle und eine imaginäre Komponente, ausgeschrieben $\mathbf{a} + \mathbf{bi}$ (mit $i = \sqrt{-1}$). Für jedes zusätzliche verschränkte Qubit erhält der Spaltenvektor $\mathbf{n}$ zwei weitere Dimensionen.

Jedem Ket $|\mathbf{v}\rangle$ entspricht ein Bra $\langle \mathbf{v}|$ im dualen Raum und umgekehrt. Die Operation des Bra $\langle \mathbf{v}|$ auf den Ket $|\mathbf{w}\rangle$ ergibt $\langle \mathbf{v}|\mathbf{w}\rangle$ analog einem Skalarprodukt. An dieser Stelle überlassen wir die mathematischen Feinheiten von Hilberträumen und Wellenfunktionen für Quantenzustände den Physikern.

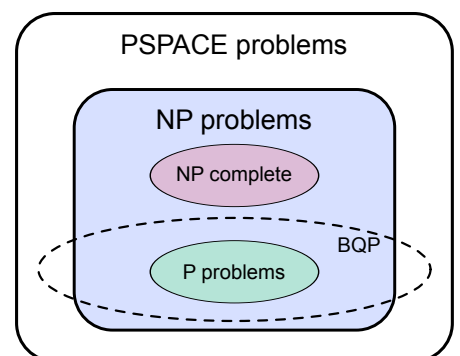
Wie ein normaler Computer rechnet

Um den weiter oben erwähnten Quantenparallelismus zu verstehen, brauchen wir einen Begriff aus der Schaltungstechnik: das Gatter (engl. *gate*). Ein Gatter ist eine elektronische Schaltung, die eine bestimmte Operation auf Bits ausführt. Zum Beispiel kehrt ein NOT-Gatter (engl. *not* = nicht) den Zustand jedes Bits um: Aus der Bitfolge 0100 wird nach dem Anwenden von NOT 1011.

Ein klassischer Computer kann pro Arbeitsschritt immer nur eine Operation aufs Mal auf ein Register mit einer bestimmten Anzahl Bits anwenden. Ein Register in einem aktuellen Mac mit 64-Bit-Prozessor besitzt – ja genau: 64 Bit. Mehr als 64 Bits kann der Mac nur dann gleichzeitig in einem Taktzyklus verarbeiten, wenn der Prozessor mehrere Kerne besitzt und sich die Rechenaufgabe durch parallele Programmierung auf mehrere Kerne verteilen lässt – was nicht immer möglich ist. Eine CPU (Hauptprozessor) enthält maximal einige wenige bis zu einer zweistelligen Anzahl Kerne; bei GPUs (Grafikprozessoren) sind es allerhöchstens wenige Tausend Kerne, die jedoch gegenüber CPUs gewisse Einschränkungen bei der Art und der Genauigkeit von Rechenoperationen haben. Denn GPUs sind für die Verarbeitung von Grafikdaten optimiert, wie der Name sagt.

Der Vorteil eines Quantencomputers

Ein Quantencomputer arbeitet grundlegend anders als ein klassischer Computer. Im Quantencomputer sind im besten Fall alle vorhandenen Qubits miteinander verbunden, und Quantengatter lassen sich in einem Durchgang auf alle Qubits anwenden. Dadurch erhöht sich die Rechenleistung exponentiell mit der An-



Quantencomputer (gestrichelte Linie BQP) dringen in höhere Schwierigkeitsgrade für mathematische Probleme vor als klassische Computer («P problems»; polynomischer Rechenaufwand) Bild: Wikimedia Commons

zahl verfügbarer Qubits, aber eben wie bei einer GPU auch wieder nur für solche Rechenaufgaben, für die es einen passenden Algorithmus gibt, der von der massiv parallelen Verarbeitung profitiert. Deshalb ist es in der Praxis in der Regel sinnvoll, einen klassischen Computer und einen Quantencomputer zu kombinieren.

Nun also zum Quantenparallelismus. Betrachten wir ein einzelnes Qubit im überlagerten Zustand vor der Messung:

$$|\varphi\rangle = a|0\rangle + b|1\rangle$$

Die Gatteroperation NOT ergibt:

$$|\varphi'\rangle = a|1\rangle + b|0\rangle$$

Eine Anwendung der Gatteroperation nimmt also zwei Manipulationen vor.

Nun wenden wir das Gatter auf zwei verschränkte Qubits an:

$$|\varphi\rangle = a|00\rangle + b|01\rangle + c|10\rangle + d|11\rangle$$

Mit der NOT-Operation wird daraus:

$$|\varphi'\rangle = a|11\rangle + b|10\rangle + c|01\rangle + d|00\rangle$$

Eine einzige Gatteroperation liefert bei zwei Qubits also bereits vier Manipulationen. Verallgemeinert nimmt die Rechenleistung also exponentiell zu: Eine einzelne Gatteroperation auf n miteinander verschränkte Qubits führt insgesamt 2^n Manipulationen durch.

Der schnellste Supercomputer der Welt gemäss der Top 500 Liste von November 2022 heisst «Frontier»; er besitzt 8730112 Prozessorkerne, erreicht über 1 Exaflop/s (eine Trillion = 10^{18} Fliesskomma-Operationen pro Sekunde) bei einem Stromverbrauch von 21,1 Megawatt und steht im Oak Ridge National Laboratory in den Vereinigten Staaten. Mit einer grossen Anzahl Qubits kann ein Quantencomputer dieses Monster bei bestimmten Berechnungen locker überholen und wie ein Kinderspielzeug aussehen lassen – beim aktuellen Stand der Technik allerdings nur theoretisch, denn eine grosse Anzahl Qubits hat in der Praxis auch grosse Tücken.

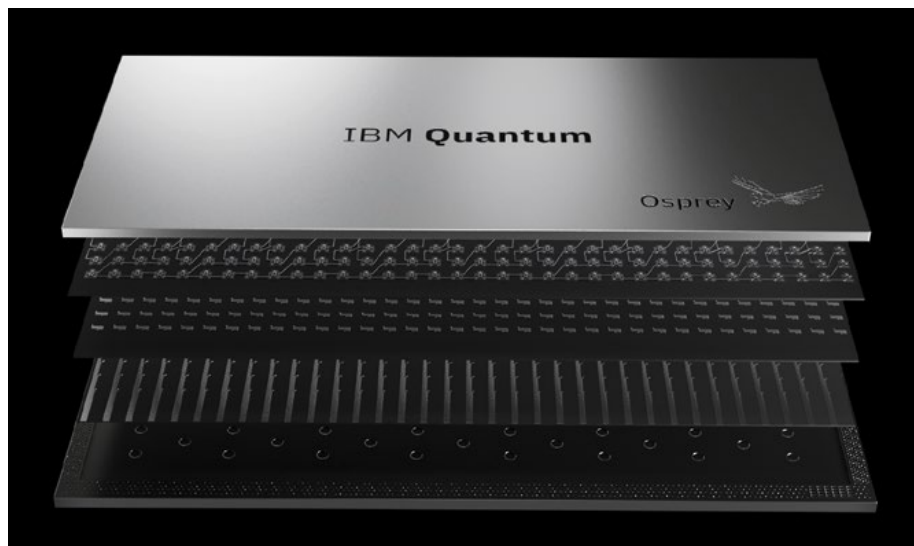
Das Rennen um brauchbare Quantencomputer

Es gibt verschiedene Ansätze, wie man Qubits und damit Quantencomputer technisch realisieren kann, zum Beispiel:

- mit einzelnen Atomen, stabilisiert im Vakuum oder in einem Gitter
- mit Ionen-Fallen (Ionen sind geladene Atome und lassen sich ebenfalls räumlich steuern und fixieren)
- mit winzigen Ringströmen in einem Supraleiter
- mit Lichtquanten (Photonen)



Ein Quantenchip nach dem Prinzip der Ionen-Falle. Beim Betrieb ist er in der hier offenen Kammer abgeschirmt. In der Mitte des Chips verläuft eine Rinne; sie nimmt die einzelnen Ionen auf, die als Qubits dienen. Sie sind in einer Linie aufgereiht. Foto: Quantinuum



«Osprey» – auf Deutsch: Fischadler – heisst der neue Supraleiter-Quantenchip von IBM. Er besitzt 433 Qubits und soll ab Mitte 2023 via Cloud-Plattform zugänglich sein. Foto: IBM



Der optische Quantencomputer-Prototyp «Jiuzhang» der University of Science and Technology of China ist aufgabenspezifisch gebaut und daher nicht programmierbar. Foto: USTC

Diese Techniken haben die Gemeinsamkeit, dass die verwendeten Teilchen extrem klein sind und äusserst empfindlich auf Störeinflüsse in ihrer Umgebung reagieren. Deshalb haben die derzeit herstellbaren Qubits im Vergleich zu Transistoren in einem Siliziumchip eine sehr hohe Fehleranfälligkeit. Je mehr Qubits man verbindet, umso höher steigt die Fehlerquote bei Berechnungen. Als Gegenmassnahme muss man entweder die Berechnung unzählige Male wiederholen, um im Ergebnis die Fehler zu erkennen, oder jeweils mehrere physische Qubits zu einem logischen Qubit mit Fehlerkorrektur zusammenfassen. Beide Arten machen den erhofften Leistungsgewinn durch die grössere Anzahl Qubits wieder zunichte. Deshalb ist es noch ein weiter Weg bis zu einem fehlertoleranten, universellen Quantencomputer mit der enormen Rechenleistung, welche die Theorie in Aussicht stellt.

Erste Teilerfolge in den letzten Jahren zeigen ein grosses Potenzial auf. Sowohl Unternehmen als auch staatliche Organe sind überzeugt, dass sich die Forschung in der Quantentechnologie langfristig auszahlen wird. So unterstützt die Europäische Kommission seit 2018 diese Forschung in einem Flaggschiff-Projekt mit einer Milliarde Euro.

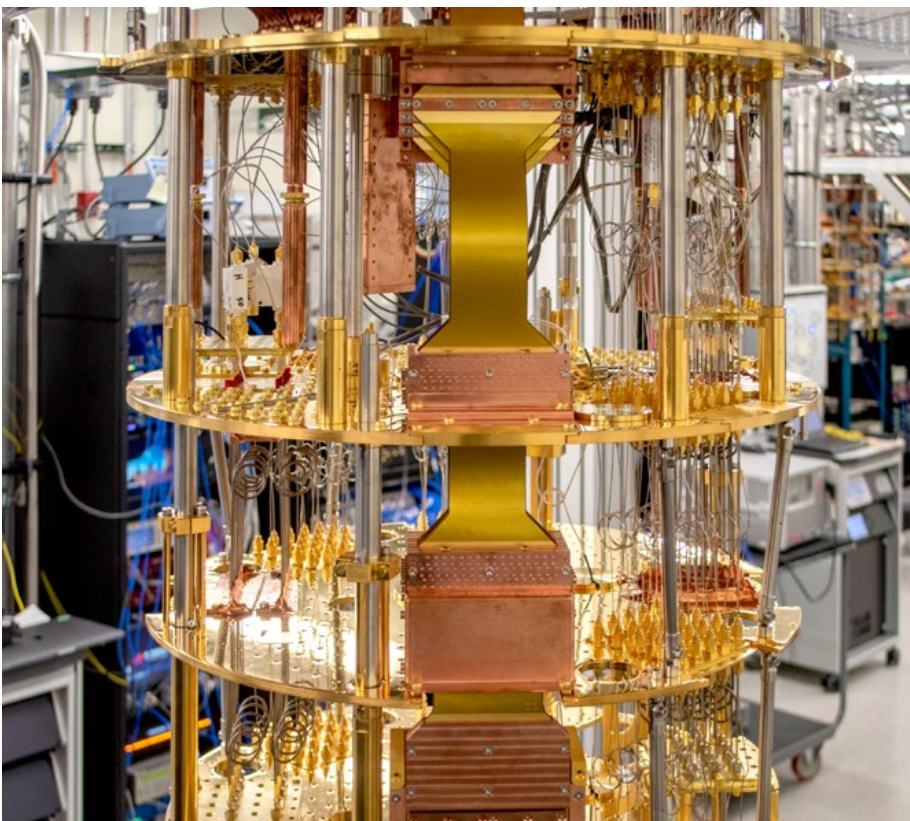
Auch Grosskonzerne und spezialisierte Start-ups investieren gewaltige Summen in die Quantentechnologie. Die Grundlagenforschung befasst sich dabei mit vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten, etwa Kommunikation, Sensoren, Kryptografie und mehr.

Kälter als im Weltall

Der bisher am längsten verwendete Ansatz, um Qubits zu bauen, nutzt die Supraleitung: Bestimmte Metalle verlieren bei tiefsten Temperaturen jeglichen elektrischen Widerstand und leiten dann den Strom ganz ohne Verlust. Zwischen zwei Supraleitern mit einer dünnen Zwischenschicht aus normal leitendem oder isolierendem Material tritt der quantenmechanische Josephson-Effekt auf, der sich auf verschiedene Weise nutzen lässt, um Qubits mit den gewünschten Eigenschaften zu erhalten.

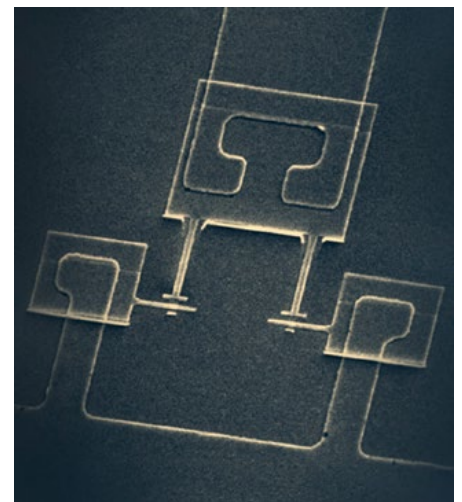
Supraleitende Quantenchips werden bei einer Temperatur von wenigen Millikelvin über dem absoluten Nullpunkt betrieben. Dieser liegt bei null Kelvin beziehungsweise minus 273,15 Grad Celsius. Der Quantenprozessor ist bei der Arbeit kälter als das All ausserhalb der Erdatmosphäre, wo die kosmische

Strahlung zumindest noch Spuren von «Wärme» verbreitet. Der Quantenchip befindet sich unten an einer hängenden Konstruktion, die an einen Kronleuchter erinnert, siehe in der Abbildung auf dieser Seite. Der isolierende Mantel eines Kryostaten umhüllt anschliessend das ganze Kabelgewirr. Das ist ein Kühlgerät, das in diesem Fall mit flüssigem Helium arbeitet, dessen Siedepunkt bei Normaldruck nur knapp über 4 Kelvin liegt ($-269\text{ }^{\circ}\text{C}$). Durch die Mischung zweier Isotope, an deren Grenzfläche ein Energieaustausch stattfindet, der dem Kühlgut Wärme entzieht, sinkt die Temperatur nahezu auf den absoluten Nullpunkt. Es dauert mehr als einen Tag bis zu mehreren Tagen, um den Quantenprozessor auf Betriebstemperatur herunterzukühlen. Dieses Konstruktionsprinzip taugt also definitiv nicht als Ersatz für einen klassischen Personal Computer, geschweige denn für ein Mobilgerät. In den Labors von IBM oder Google Quantum AI, im Quantum Device Lab der ETH Zürich und an weiteren Forschungsstandorten nimmt man den Aufwand hingegen in Kauf. An der ETH wurde sogar eine dreissig Meter lange Tieftemperaturverbindung zur Erforschung supraleitender Quanten-Netzwerke errichtet.



IBM setzt für die Zuleitungen im Kryostaten neu platzsparende, flexible Kabel ein. Dies hilft, mit der wachsenden Anzahl Qubits Schritt zu halten.

Foto: IBM



Ein Qubit in Googles Prozessor «Sycamore»: Dieser empfindliche elektromagnetische Detektor besteht aus zwei parallel geschalteten Teilen: einer Induktivität (Sandwich aus supraleitendem Metall und einem Isolator) und einem Kondensator mit zwei Metallplatten. Das Qubit misst rund zehn Mikrometer; ein Menschenhaar ist fünf- bis achtmal so breit, ein Transistor in einem Siliziumchip mit der Strukturgrösse 5 Nanometer dagegen fast drei Grössenordnungen kleiner ($\sim 1/1000$). Bild: Google Quantum AI

Nanobasteln mit der Laserpinzette

Einen anderen Weg gehen Firmen wie Quantinuum in England. Die Fortschritte in der Quantenphysik haben Geräte und Methoden hervorgebracht, mit denen die Wissenschaftler Objekte bis hinunter zur Grösse einzelner Atome manipulieren können. Was liegt da näher, als diese Atome zu Qubits zu machen? Die quantenmechanischen Eigenschaften eines Atoms lassen sich direkt nutzen, um damit zu rechnen. Am besten eignet sich der Energiezustand der äussersten Elektronenschale zum Steuern beziehungsweise Messen.

Für einzelne Atome gibt es übrigens eine raffinierte Kühlmethode ohne Kryostat. Die mit der Temperatur ansteigende Wärmebewegung des Teilchens lässt sich mit fein dosierten Laserpulsen in genau entgegengesetzter Richtung zur Bewegung praktisch zum Stillstand bringen, was einer Abkühlung entspricht. Solche «neutralen Atome», auch «kalte Atome» genannt, kann man auf die selbe Weise auch räumlich genau positionieren und als Qubit nutzen.

In einer Ionen-Falle dient jeweils ein elektrisch geladenes Atom – ein Ion – als Qubit. Dazu ionisiert ein Laserpuls zum Beispiel ein Ytterbium-Atom. Ein elektromagnetisches Feld bildet einen «Potentialtopf», mit dem sich das Ion gewissermassen über dem Chip im Vakuum schwebend positionieren lässt. So wird das Ion in die gewünschte Gatterzone transportiert. Dort wirkt ein Mikrowellensignal oder ein Laser auf dieses Qubit ein, um die programmierten Operationen auszuführen oder den Zustand zu messen. Mit der Methode der Ionen-Falle erreichen die Qubits eine vergleichsweise lange Kohärenzzeit; das ist die Zeitspanne, in der das Qubit seinen überlagerten und/oder verschränkten Zustand behält und für Berechnungen genutzt werden kann, bevor äussere Störeinflüsse oder eine unerwünschte Wechselwirkung mit anderen Qubits den Zustand verfälscht und die Überlagerung/Verschränkung aufhebt. Diese Dekohärenz macht ein Qubit unbrauchbar und produziert ein fehlerhaftes Resultat in der Berechnung.

2021 haben die ETH Zürich und das Paul Scherrer Institut (PSI) ein gemeinsames Zentrum zur Entwicklung von Quantencomputern gegründet: den Quantum Computing Hub. Er befindet sich am Standort Villigen im Aargau in einem eigens umgebauten Gebäude des PSI. Darin arbeiten zwei Forschungsteams sowohl mit Ionenfallen als auch mit supraleitenden Schaltkreisen. Das Personal wird kontinuierlich ausgebaut, und weitere Technologien können hinzu kommen, falls sich in der internationalen Forschung vielversprechende Ansätze für die Umsetzung von Qubits ergeben.

An der ETH Zürich beteiligen sich an der interdisziplinären Quantenforschung über zwei Dutzend Professuren aus sechs Departementen.

Qubits, Qutrits, Qudits?

Ein klassischer Siliziumchip kann nur binär rechnen, weil die zwei möglichen Zustände seiner Transistoren gegeben sind: entweder fliesst Strom, oder es fliesst kein Strom – eins oder null. Dagegen kann ein Quantenobjekt auch mehr als nur zwei messbare Zustände haben. Entsprechend lässt sich damit auch mehr Information pro Einheit codieren. Diese Möglichkeit kann man zum Beispiel bei einem optischen Quantencomputer nutzen.

Eine Forschungsgruppe des Oak Ridge National Laboratory, der Purdue Universität und der EPFL hat in einem Experiment parallel Licht in verschiedenen Wellenlängen eingesetzt. Mittels Laser kann man Licht mit einer genau definierten Wellenlänge/Farbe erzeugen, das sich in den Qudits – mehrdimensionalen «Qubits» – von andersfarbigen Signalen unterscheiden lässt. Auf diese Weise kann man zehn bis zwanzig verschiedene Zustände erzielen. Die Gruppe brachte mit zwei verschränkten

8-stufigen Photonen sogar einen 64-dimensionalen Quantenraum zustande.

Ein Team der *University of Science and Technology of China* (USTC) meldete 2021, dass es ihm mit dem photonischen Quantencomputer «Jiuzhang 2.0» gelungen war, eine bestimmte Aufgabe geschätzt um den Faktor 10^{24} schneller zu lösen als es ein klassischer Supercomputer könnte. An der gleichen Universität werden auch supraleitende Quantencomputer entwickelt.

Die indische Regierung setzt dem Vernehmen nach grosse Hoffnung darauf, sich mit mehrdimensionalen Qudits und Photonik eine lukrative Nische zu erschliessen, namentlich in der Satellitenkommunikation.

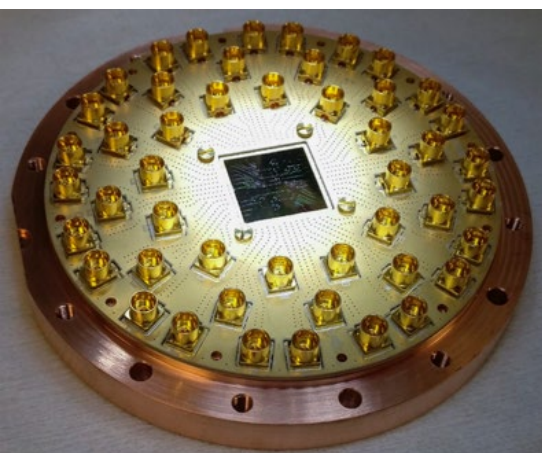
Laut einem McKinsey-Bericht plant China, 2023 über 15 Mrd. USD an staatlicher Förderung in die Forschung für Quantencomputer zu investieren. Bei der EU sind es etwas über 7 Mrd. USD, und zusammen stellen diese beiden Regionen mehr öffentliche Gelder bereit als alle restlichen Länder zusammen.

Entwicklung an mehreren Fronten

Aufgrund der hohen Fehleranfälligkeit, geringen Anzahl Qubits und begrenzten Kohärenzzeit fallen die derzeit verfügbaren Hardwaresysteme in die Kategorie «Noisy Intermediate-Scale Quantum Computing», kurz NISQ. Trotz ihrer Unvollkommenheit leisten diese Quantencomputer bereits nützliche Dienste für die Forschung und für erste praktische Anwendungen. Cloud-Plattformen, Programmiersprachen und Entwicklerwerkzeuge lassen Interessierte die Welt der Quantencomputer erkunden. ●

Weitere Infos

- <https://www.weltderphysik.de>
- <https://www.youtube.com/watch?v=3s2bPNzOIFM> Erklärvideo Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF
- <https://qc.ethz.ch>
- <https://www.psi.ch/de>
- <https://iqim.caltech.edu>
- <https://en.ustc.edu.cn>
- <https://quantumbasel.com>
- <https://terraquantum.swiss>
- <https://quantumai.google>
- <https://www.microsoft.com/en-us/quantum>



Eine Leiterplatte mit dem Quanten-Chip. Im Betrieb hängt sie ganz unten im Kryostaten, wo die Temperatur am tiefsten ist.

Foto: ETH Zürich / Quantum Device Lab



Die Schweiz aus vertikaler Sicht

Andreas Busslinger hat sich für sein Buch ein hohes Ziel gesteckt: Er will die Schweiz zeigen, wie man sie noch nicht gesehen hat: aus der Luft, und zwar senkrecht von oben.

■ Interview Eric A. Soder

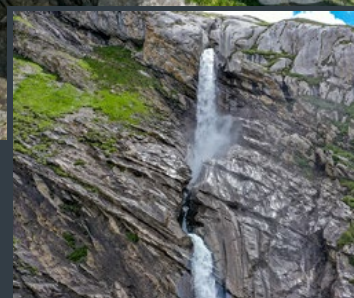
Früher Lehrer, heute Berufsfotograf: Das Reisen und das Gleitschirmfliegen haben Busslinger auf den Geschmack des Fotografierens gebracht, und durch die Szene ergaben sich bald auch Kontakte zu Publikationen und Kunden für Fotoaufträge. Schliesslich setzte er ganz auf die Fotografie.

Der Baarer arbeitet mit der Fotoagentur Aura zusammen und hat bereits früher Bildbände mit Gleitschirmfotos veröffentlicht. Das Projekt eines anderen Fotografen – «Helvetia by Night» von Alessandro Della Bella – hat ihn beeindruckt. Die Nachtaufnahmen zeigten Schweizer Landschaften und Städte bei Nacht und in einer damals noch höchst ungewohnten Art und Weise. Das war etwas konzeptionell Neues und fand entsprechend grosse Beachtung. Dieser Ansatz brachte Busslinger auf die Idee, selbst nach einem kreativen Konzept zu suchen, das sich von der klassischen Landschaftsfotografie abhebt und mehr bietet als nur die x-te Wiederholung bekannter Motive an den üblichen Orten, die auch als touristische Erinnerung längst ausgelutscht sind.

Das fotografische Thema «Welt aus der Vogelschau» ist nicht völlig neu; der Schweizer Luftbild-Pionier Georg Gersner (1928–2019) und später der Franzose Yann Arthus-Bertrand (*1946) haben umfangreiche Werke dazu geschaffen, wobei ein grosser Teil der Fotos Schrägaufnahmen sind. Busslinger beschränkt sich dagegen auf die Schweiz und eine genau lotrechte Aufnahmerichtung. Er hat sich zwei Jahre Zeit gegeben, um sein Buchprojekt zu realisieren. In dieser Zeit hat er die Schweiz zu Fuss und im Auto erkundet und etwa zwei Mal pro Woche Luftbilder geschossen. Bei



Ein Wasserfall aus der Vogelschau (oben) und in einer vom Boden aus gewohnten Ansicht (kleines Bild)



der Suche nach Motiven hat er sich von seiner Erfahrung leiten lassen, aber auch mit Google Maps nach lohnenden Standorten gefahndet. Vor allem aber hat er immer wieder genau hingeschaut, um besondere Situationen und Details einzufangen, die sich zufällig für einen Moment ergeben haben.

Versuche mit grossen Drohnen und schweren Kameras ergaben eine Flugdauer von höchstens zehn Minuten. Stattdessen nutzt Busslinger daher für Touren im Gelände eine leichtere Drohne von DJI mit eingebauter Hasselblad-Kamera und Zeiss-Optik. Eine Akkulaufzeit reicht bis zu 45 Flugminuten. ●

Mehr über Autor und Buch

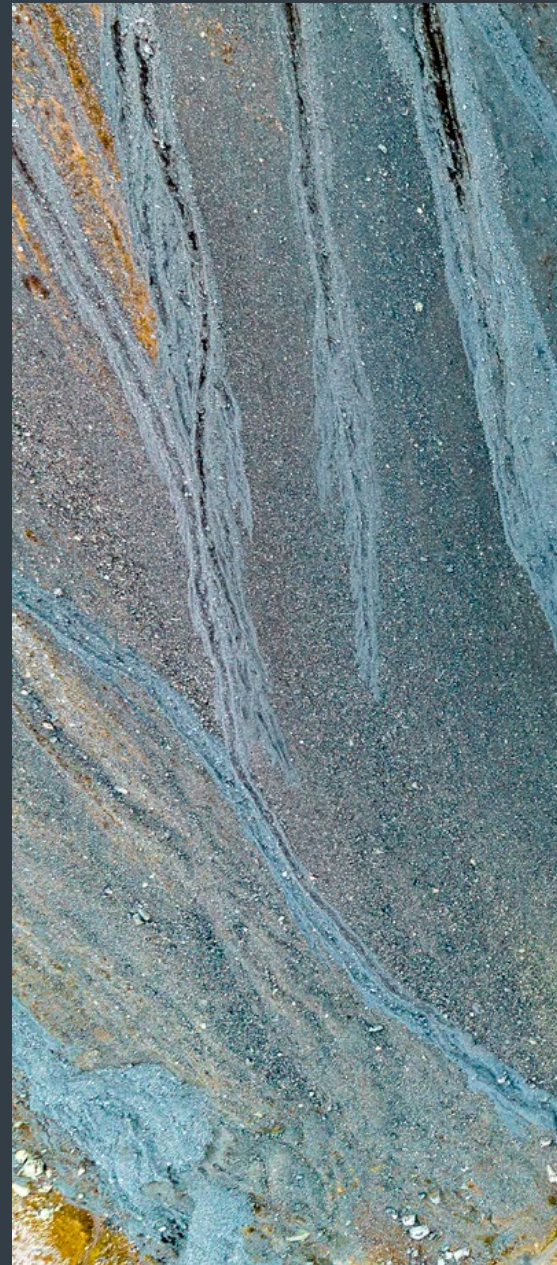
256 Seiten, 35×30 cm, dt./engl.
ISBN 978-3-9524649-9-1

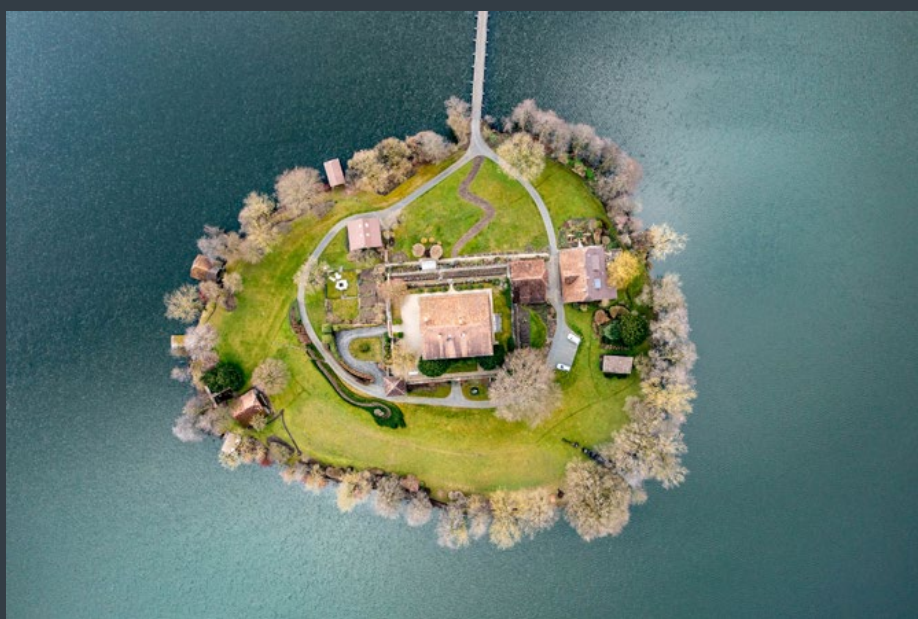
- www.andreasbusslinger.ch
- www.epaper4you.com/VERTIKALE-SICHT/6/ (Leseprobe)
- vimeo.com/749859210
Entstehungsvideo zum Buch













Wie sieht die Wirklichkeit aus?

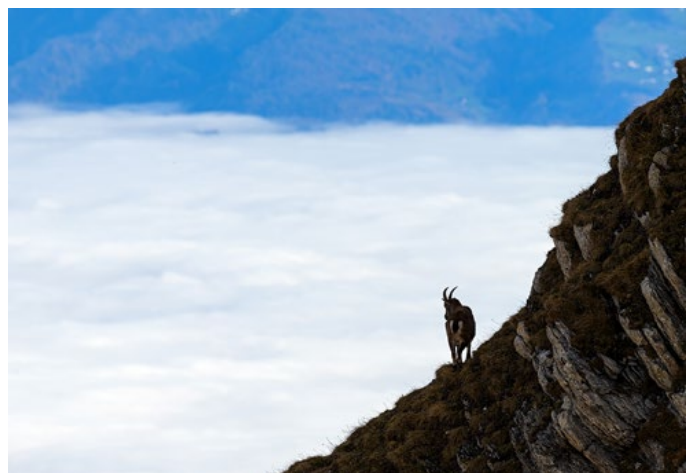
Welche Variante dieses Fotos gibt das Motiv «nature-treu» wieder? Welche gefällt am besten? Erfüllt eines der drei Bilder sogar beide Anforderungen gleichzeitig?

■ Eric A. Soder

Wir sehen die Welt mit anderen Augen als eine Kamera. Das hat nicht nur physikalische Gründe, sondern hängt auch mit der Art unserer Wahrnehmung zusammen. Während der Belichtung projiziert das Objektiv einen Moment lang das ganze Bild auf den Kamerasensor. Im Auge wirft die Linse ebenfalls ein Bild auf die Netzhaut; dieses nehmen wir jedoch nicht einzeln wahr, denn unser Blickfeld für scharfes Sehen ist nur etwa ein Grad klein. Deshalb scannen die Augen laufend verschiedene Bereiche der Umgebung, und erst das Gehirn setzt daraus das Gesamtbild zusammen.

Beim Sehen hört die Ähnlichkeit mit der Kamera an der Stelle auf, wo das Licht auf Sensorpixel oder Sinneszellen in der Netzhaut trifft. Diese sind für grünes, rotes oder blaues Licht empfindlich. Die Kamera verarbeitet die jeweilige Intensität des Lichts pixelweise weiter. In der Netzhaut, den anschließenden Sehnerven und im Gehirn wird die Bildinformation dagegen in mehreren Schritten verdichtet und interpretiert. Dies führt dazu, dass Bildbereiche, welche die Kamera alle gleichzeitig erfasst und gleich verarbeitet (gleiche Belichtung und identischer Weissabgleich für sämtliche Pixel), beim menschlichen Sehen als verschieden angepasste Signale in unseren «geistigen Videostream» einfließen. Insbesondere hat auch das, was wir ausserhalb eines rechteckigen Fotos sehen, Einfluss darauf, wie wir Helligkeit, Kontrast und Farben des Fotos empfinden. Das kann keine Kamera der Welt berücksichtigen oder korrigieren. Bei der RAW-Entwicklung und in der Bildaufbereitung für eine bestimmte Ausgabe (zum Beispiel Bildschirm oder Druck) lassen sich immerhin gewisse Effekte steuern, um die gewünschte Bildwirkung zu erzielen.

Wie siehst du das? Zählt für dich das «Original» aus der Kamera, oder gehört der Feinschliff am Computer zu deinem Fotostil dazu? Erfahrungsgemäss liefern die Automatikfunktionen der Kamera bei vielen Motiven im Durchschnitt recht brauchbare Resultate. Mehrfeldmessung, Weissabgleich und Belichtungssteuerung gleichen manche Kameras mit einer internen Motivdatenbank ab, um häufige Situationen zu erkennen und allenfalls eine automatische Korrektur anzuwenden. Dabei ist aber nicht gesagt, dass das Ergebnis in jedem Fall mit dem Geschmack der Person hinter der Kamera übereinstimmt oder eine gestalterische Absicht wie gewünscht umsetzt. Möchte man die Belichtung primär am Mittelton ausrichten oder doch lieber ein besonders helles oder dunkles Objekt mit möglichst guter Detailzeichnung abbilden? Auf welche Bildteile soll sich der Weissabgleich bei Mischlicht beziehen? Das entscheiden Menschen oft lieber selbst. ●



*Zuoberst: So sieht das Foto aus mit den Originaleinstellungen an der Kamera und Mehrfeldbelichtungsmessung ohne Korrektur.
Mitte: Bearbeitung des Rohbildes mit aufgehellten Schatten.
Unten: Weitere Bearbeitung mit Betonung der Wolken. Foto: E. Soder*

Schnelle Kameras im Test: Nikon Z 9 und Sony α1

Sony stellt schon seit Jahren nur noch Spiegellose Kameras her; Nikon hat Ende 2021 das erste Spiegellose Profimodell vorgestellt. Im Sommer hatte ich Gelegenheit, die beiden Topmodelle zu vergleichen, und zwar speziell in Bezug auf ihre Autofokus-Leistung.

■ Eric A. Soder

Vögel im Flug zu fotografieren, ist eine besondere Herausforderung. Erst recht, wenn sie relativ klein sind und schnell fliegen wie der Mauer- und der Alpensegler. Um diese Flitzer gut zu erwischen, sind eine richtig schnelle Kamera und ein lichtstarkes Teleobjektiv ein erheblicher Vorteil. Deshalb wählte ich jeweils das Beste aus, was Nikon und Sony für die Action-Fotografie zu bieten

haben: die Nikon Z 9 mit dem Nikkor Z 400 mm 1:2,8 TC VR S und die Sony α1 mit dem FE 400 mm F2,8 GM OSS.

Mit diesen Kombinationen nahm ich jeweils an ein paar Tagen umfangreiche Aufnahmeserien von anfliegenden Mauer- und Alpenseglern in der Nähe ihrer Brutkolonien auf. So entstanden mit jeder Kamera einige Tausend Fotos, die meisten im Serienaufnahmemodus mit 20 Bildern pro Sekunde. Beim AF-Modus nutzte ich je die grösste verfügbare Messfläche mit Tier- und Augenerkennung. Die so produzierten Bilder dienten als Basis für einen subjektiven Vergleich des Ansprechverhaltens des Autofokus und der Trefferquote bei den Serienaufnahmen unter Praxisbedingungen. Das ist keine exakte Wissenschaft, da die Anflüge der Vögel und die Lichtbedingungen natürlich schwankten.

Es zeigte sich, dass sogar bei einer Belichtungszeit von $\frac{1}{8000}$ s noch Bewegungsunschärfen auftreten können. Die Sony α1 sprach nach meiner Einschätzung ein wenig schneller auf das Motiv an und konnte ab und zu auch länger die Schärfe nachführen. Trotzdem gab es mit beiden Systemen viel Ausschuss und leider kein formatfüllendes Bild. ●

Technische Daten

Nikon Z 9: 45,4 MPx, 20 B/s, 2 Slots für CFexpress Typ B od. QXD

Sony α1: 49,8 MPx, 20(–30) B/s, 2 Slots für CFexpress Typ A od. SD

Weitere Infos

■ <https://www.nikon.ch>

■ <https://www.sony.ch>



Die Tier-/Augenerkennung hatte mit der Ringelnatter Mühe; dieses Bild in der Serie hat die Nikon Z 9 scharf fokussiert. Fotos: Eric A. Soder.



Ein Mauersegler im Flug: Auf kurze Entfernung ist schon das Mitziehen schwierig, und der Autofokus der Z 9 bis ans Limit gefordert.



Bei dieser fliegenden Elster vor einem Gebäude liess sich der Autofokus der Z 9 kaum beirren, in dieser Serie war die Trefferquote hoch.



Auch die Sony α1 schafft bei fliegenden Seglern selten eine durchgehend scharfe Serie, diesen Alpensegler hat der AF jedoch sauber erwischt.



In der Serie dieser Flusseeschwalbe kommt der Autofokus der α1 gut mit. Die meisten Bilder sind scharf, und zwar genau auf dem Auge.

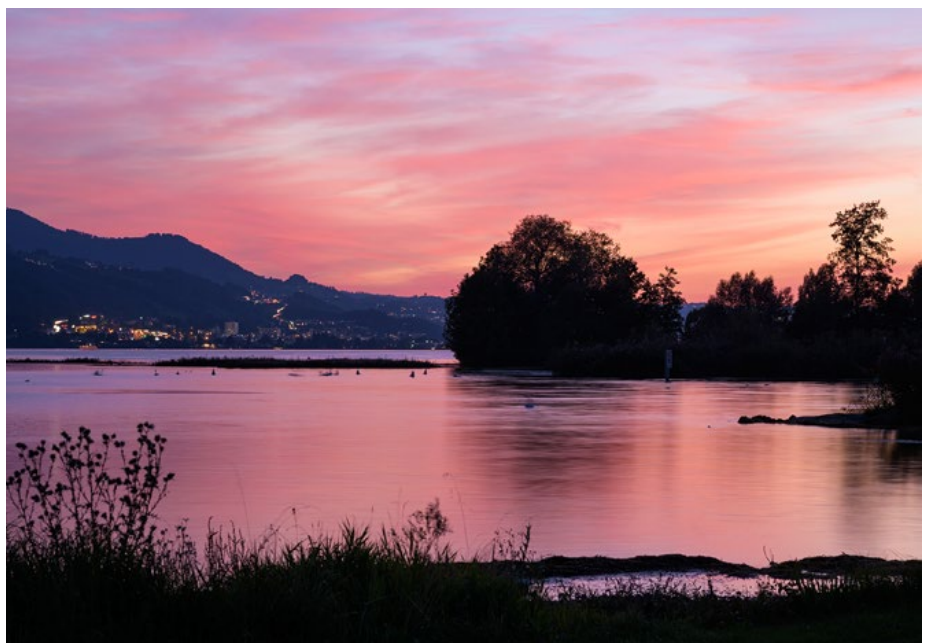
MUS-Fotowettbewerb statt Winterpause



In diesem Jahr veranstaltet MUS wieder einen Fotowettbewerb für alle Mitglieder. Damit du dich schon mal darauf vorbereiten kannst, sei hier das Thema verraten: Es lautet «mein Lieblingsort».

■ Eric A. Soder

Die Teilnahmebedingungen sowie die ausgelobten Preise publizieren wir im April-MUSletter. Die Teilnahmefrist läuft bis Ende April, und die Gewinnerfotos erscheinen im nächsten MUSfalter im Juni. Während wir die Einzelheiten planen, kannst du bereits mit Fotografieren loslegen und dir überlegen, wie du deinen Lieblingsort am kreativsten festhältst. Beachte bitte: Bildet dein Foto Personen ab, müssen diese mit der Veröffentlichung einverstanden sein. ●



Wo ist dein Lieblingsort? Auf einem Berg, am See oder anderswo?

Fotos: Eric A. Soder

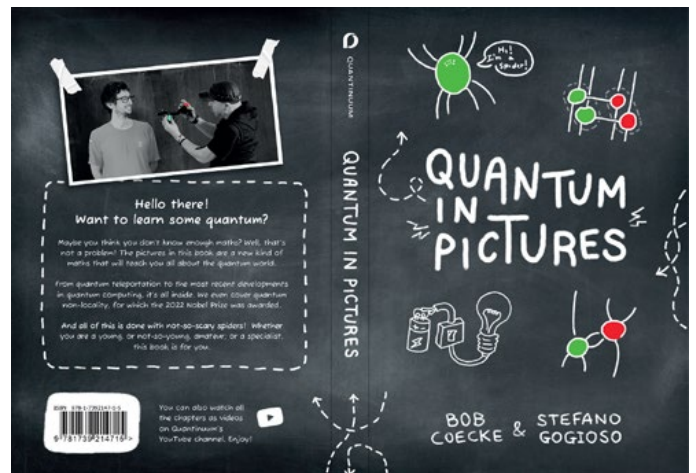
Geistige Herausforderungen und wie man sie meistert

Computer sollen uns die Arbeit erleichtern, doch manchmal ist das ein fataler Trugschluss. Zu viel Information oder Ablenkung bringt dem Hirn womöglich mehr Frust als Lust. Dagegen gibt es guten Rat und verdaulichere Kost.

■ Eric A. Soder

Ein hektischer Alltag mit ständigen E-Mails, Chats und Benachrichtigungen von Apps auf dem Smartphone bietet einem kaum Gelegenheit, sich richtig in eine Sache zu vertiefen und in den «Flow» zu kommen. Cal Newport zeigt in seinem Buch auf, warum das so ist und was man tun kann, um seine Konzentration zu fördern und anspruchsvolle Aufgaben besser anzugehen und sie produktiver zu erledigen. Ich habe die englische Originalausgabe «Deep Work» gewählt, das Buch ist aber auch auf Deutsch erhältlich:

- Cal Newport: *Konzentriert Arbeiten*. Redline Verlag, München, 2017. ISBN: 978-3-86881-657-0
<https://www.m-vg.de/redline/shop/article/12503-konzentriert-arbeiten>



Hat der Artikel weiter vorn im Heft deine Neugier und den Wunsch geweckt, tiefer in die Themen Quantenphysik und Quantencomputer einzudringen? Dazu ist frisch ein Buch erschienen, das statt komplizierter mathematischer Formeln anschauliche Diagramme verwendet. Prof. Bob Coecke, Chief Scientist bei Quantinuum, und Dr. Stefano Gogioso, Dozent in Oxford, zeigen darin Grundlagen und neuste Erkenntnisse. Das Buch richtet sich ebenso an Laien wie an Spezialisten.

- Bob Coecke & Stefano Gogioso: *Quantum in Pictures*. Quantinuum, Cambridge, 2023. ISBN: 978-1-7392147-1-5
Ca. ab Januar 2023 erhältlich bei Amazon (Englisch)

Das Angebot der Macintosh Users Switzerland

Die Mitgliedschaft bei den Macintosh Users Switzerland (MUS) bietet dank der vielfältigen Dienstleistungen für nur 110 Franken viele Vorteile. Dazu gehören:

■ Zeitschrift und Newsletter

Der MUSfalter ist die Zeitschrift der Macintosh Users Switzerland. Sie erscheint zwei Mal jährlich und wird kostenlos an deine Adresse geschickt. Zwölf Mal im Jahr erscheint der MUSletter online als PDF-Dokument, immer pünktlich zum Ersten des Monats.

■ LocalTalks zur Kontaktpflege

Regelmässig finden lokale Treffen statt,

die «LocalTalks». Diese kostenlosen Anlässe oder Videocalls mit Diskussionen und Referaten über aktuelle Themen oder Produkte bieten dir daneben auch die Möglichkeit, persönliche Erfahrungen oder allfällige Probleme direkt mit anderen MUS-Mitgliedern zu besprechen. Oder man unterhält sich im Kreis von Gleichgesinnten einfach über Gott und die (Apple-)Welt.

■ Kostenlose E-Mail Adresse

Jedes Mitglied erhält bei den Macintosh Users Switzerland kostenlos eine E-Mail-Adresse: xy@mus.ch (xy frei wählbar, soweit verfügbar).

■ Kostenlose Infoline

In dieser Mailingliste kannst du alle deine Fragen zum Mac, iPad, iPhone, Software usw. stellen. Jederzeit, 24 Stunden am Tag, 365 Tage pro Jahr. Die Antworten kommen schriftlich und lassen selten lange auf sich warten.

■ Kostenlose Helpline

Plagt dich ein dringendes Problem mit dem Mac? Auch so etwas kann einem gelegentlich widerfahren. Alle MUS-Mitglieder können während der Öffnungszeiten des Sekretariats über die Telefonnummer 044 915 77 66 Fragen rund um Apple Produkte stellen! So kommst du rasch wieder aus der Bredouille.



Selbst Albert Einstein rauchte wohl der Kopf beim Nachdenken über den vertrackten Welle-Teilchen-Dualismus in der Quantenphysik.

■ Special Interest Groups (SIGs)

Unter den MUS-Mitgliedern haben sich Gruppen gebildet, die sich für spezielle Wissensgebiete interessieren: zum Beispiel FileMaker oder Web-Publishing. Sie tauschen sich über Mailinglisten aus und organisieren von Zeit zu Zeit über-regionale Treffen.

Von den Vorteilen profitieren

Die Mitgliedschaft bei den Macintosh Users Switzerland ist die einzige Voraussetzung, um von allen Dienstleistungen zu profitieren! Fülle den unten stehenden Anmeldetalon aus und sende ihn ans Sekretariat (siehe Impressum). Dort gibt es auch Informationen zu Familien- oder Firmenmitgliedschaften. Alternativ kann man sich auch auf der Homepage www.mus.ch anmelden.

Das MUS-Dienstleistungsangebot überzeugt mich, ich will Mitglied werden.

Jahresbeitrag CHF 110.– (bis 18 Jahre CHF 20.– / StudentInnen mit Ausweis CHF 40.–)

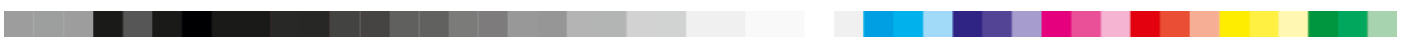
Vorname: _____ Name: _____

Strasse, PLZ/Ort: _____

E-Mail: _____

Ich wurde geworben von: _____

Datum: _____ Unterschrift: _____





*MUS-Vorstand und Redaktion
wünschen euch ein gutes Voran-
kommen auf euren Wegen.*

➔ *Der nächste «MUSfalter» erscheint im Juni.*

*Gämsen suchen in einem Steilhang Futter.
Foto: Eric A. Soder*



Sekretariat
Macintosh Users Switzerland (MUS)
Berglistrasse 6
8703 Erlenbach
Telefon 044 915 77 66
sekretariat@mus.ch
www.mus.ch