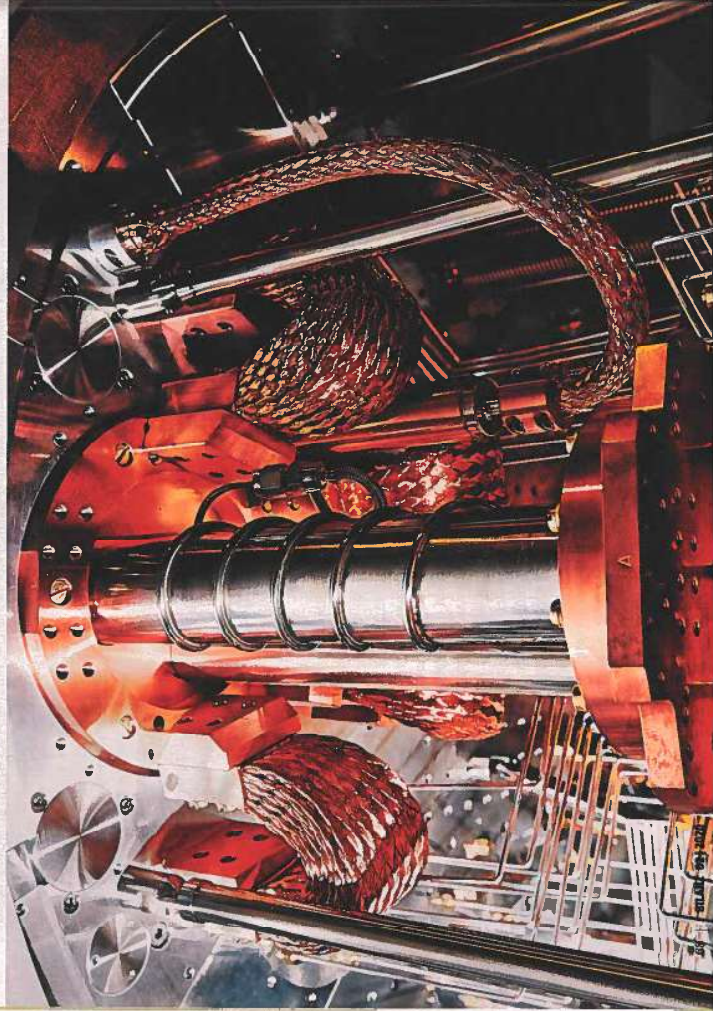


Ein Quantum Hype

Computer
 Quantentechnologie soll die IT revolutionieren. Die Versprechungen sind riesig, die Probleme ebenfalls.

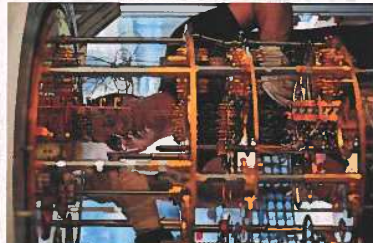
von MARC KOWALSKY



Das Gerät, von dem derzeit die Welt spricht, sieht spektakulär unspokular aus: Wie ein grosser Wasserkocher, der von einem Gerüst nach unten hängt, weiss lackiert mit schwarzen Griffen, um das Gehäuse abzunehmen. Das hinter den runden Kunststoffpaneelen etwas Besonderes stecken könnte, verstrahlt allenfalls ein Blick um die Ecke: Mit dem Gerüst verbunden ist eine ganze Wand an Computern, Messinstrumenten und Elektronikgeräten.

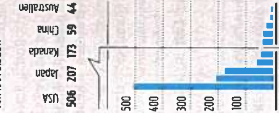
Denn der Wasserboiler ist in Wahrheit die momentan grösste Hoffnung der IT-Branche: ein Quantencomputer. «Das ist ein neues Paradigma», sagt Heike Riel, als IBM Fellow und Chefwissenschaftlerin im IBM-Forschungslabor in Rüschlikon. «Zu so etwas wie die oberste Autorität für das Gerät. «Die Quantentechnologie wird so viel verändern wie vor 70 Jahren die klassische Computertechnologie», sagt Professor Klaus Ensslin von der ETH Zürich. «Wir stehen am Anfang einer neuen Ära», sagt Jack Hidary, der bei Google für diese Technologie zuständig ist. «Quantencomputing wird das grosse Thema sein für die nächste Generation», sagt EU-Kommissar Thierry Breton. «Wäre ich jung, würde ich ein Quanten-Start-up gründen.»

Keine Konferenz, vom WEF in Davos über das Worldweforum in Zürich bis zum DLD-Kongress in München, kommt gegenwärtig am Thema Quantencomputing vorbei. Dabei war es jahrzehntelang ruhig um diese Technologie. Doch im vergangenen Oktober schreckte Google die Wissenschaft auf mit der Meldung, mit Hilfe eines Quantenrechners innerhalb von 200 Sekunden ein mathematisches Problem gelöst zu haben, für das ein herkömmlicher Supercomputer rund 10.000 Jahre benötigt hätte. Diese sogenannte Quantum Supremacy, die Quantenüberlegenheit, galt als der heilige Gral der Computerwissenschaft, ihr Erreichen als technologische Sensation.



ENTPUPPUNG
 Mit seinem temperaturisierenden Paneele sieht der IBM-Quantenrechner aus wie ein Boiler, ohne wie ein Kronleuchter.

USA top
 Patentanmeldungen zum Quantencomputing von 1990 bis 2017



Denn das ist das grosse Versprechen dieser Technologie: die Leistungsfähigkeit von Computern in Dimensionen zu katapultieren, in denen sich alles berechnen lässt, was mathematisch irgendwie darstellbar ist. Seit dem Beginn der Halbleiter-Ära in den 70er Jahren folgte der technologische Fortschritt dem Moore'schen Gesetz: dass sich die Dichte integrierter Schaltkreise alle 18 Monate verdoppeln lässt und damit auch die Rechen- und Speicherkapazität von Computern. Doch nach einem halben Jahrhundert stösst Moore's Law an seine physikalischen Grenzen: «Ein Transistor ist heute nur noch ein paar hundert Atome gross, einzelne Schichten sind nur noch einige Atome dünn», sagt IBM-Frau Riel, eine weitere Verdichtung sei daher kaum möglich.

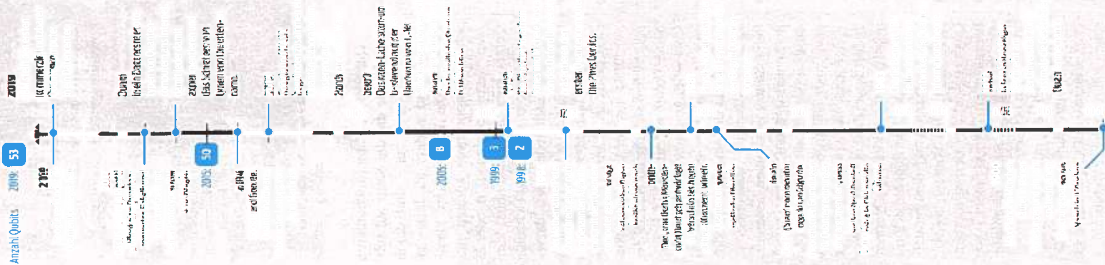
OHNE EINSCHRÄNKUNG

Schon seit einiger Zeit versucht die Industrie das Problem zu umgehen, indem man zum Beispiel die Rechenaufgaben auf mehrere, zum Teil spezialisierte Prozessoren auf einer Platine verteilt und die Taktfrequenz der Chips erhöht. Doch auch hier sind die Grenzen erreicht: zu hoch inzwischen der Energieverbrauch, zu stark die dabei entstehende Hitze. Die Quantentechnologie könnte all diese Einschränkungen beseitigen.

Quantencomputer funktionieren ähnlich, wie das die Natur auf subatomarem Level tut – und damit grundlegend anders als bisherige Rechner. Die Bits aus der klassischen Computerwelt können nur zwei Werte annehmen: 0 oder 1. Qubits, kurz für Quantenbits, können hingegen 0 und 1 gleichzeitig sein und auch jeder Wert dazwischen – genauso wie in der Quantenwelt ein Elektron an zwei Orten gleichzeitig sein kann. Einen weiteren Schritt macht die Quantenmechanik: man zwei Qubits und beeinflusst den Zustand des einen, ändert sich auch der Zustand des anderen. Beide Effekte zusammen lassen die Rechenleistung um Potenzen steigen: Ein klassischer Computer hat etwa zehn Milliarden Transistoren – fügt man einen weiteren hinzu, ändert das an der Leistungsfähigkeit quasi nichts. Bei einem Quantenrechner jedoch verdoppelt sich die Rechenkapazität mit jedem zusätzlichen Qubit. Kein Wunder, werden Quantencomputer derzeit in atemberaubendem Tempo besser – von doppelt exponentiellem Wachstum spricht man bei Google. Der Rechner, mit dem Google die Quantum Supremacy verführte, arbeitete mit 53 Qubits, inzwischen soll man bei 72 Qubits an-

Fotos: Amy Lombard (1), Peter Fuchs (2)

MARKETS QUANTENCOMPUIT



antenncomputer in mächtig wie tom im Univer- le verwendet», an der Univer- chigkeiten der ebenso ver- ann mir keine nicht betroffen fit man sich in indem man die rechnen kann, ähige Batterien te Solarzellen h bei normalen ren. jnnen Moleküle en Medikament- ren. Mit heuti- ch nicht einmal vergleichsweise feil berechnen, essen sich Zell- schneller und ger, die momen- des weltweiten nwordlich ist, rden: Quanten- rein dechiffrie- in von Böhlen T in der Luft in te. finanzielle Ris- (Monte Carlo- konnte man sich an vorherzagen ie Lieferrouen flüsse gesteuert ht für Quanten- omputern hofft berechnen und pfen zu können, s sich mit Quan- bekannte Kryp- an lässt. Diverse erets quanten- gsmechanismen t zu sein, müss- aren damit neu ten die sekun- Das Internet hat niteinander ver-

bunden - und dennoch die Gesellschaft in fast allen Bereichen verändert: Wie wir arbeiten, einkaufen, Medien konsumieren, daten usw. Ähnlich dürfte es mit Quanten- computing sein: «Wir können noch nicht sehen, was alles passieren wird, aber die Auswirkungen werden riesig sein», sagt Ian Walmsley, Professor für Experimental- physik am Imperial College London. Kein Wunder, ist ein Wertlauf der. Nationen um die Technologieführerschaft ent- brannt: Die EU legte bereits im Herbst 2017 ein Förderprogramm über zehn Jahre auf und lässt sich das eine Milliarde Euro kos- ten. Die deutsche Regierung stellt für die nächsten zwei Jahre noch einmal 650 Mil- lionen zur Verfügung. Der US-Kongress hat Forschungsgelder in Höhe von 1,3 Mil- liarden Dollar beantragt, und China investiert gar zehn Milliarden Dollar in ein nati- onales Quantenlabor, das dieses Jahr fertiggestellt werden soll. Auch die Privatindustrie hat die klei- nen Teilchen als grosse Hoffnung ent- deckt: In den letzten drei Jahren wurden weltweit 650 Millionen Dollar in Quanten- Start-ups gesteckt, die ganz unterschiedli- che technologische Ansätze verfolgen. Die üblichen Verdächtigen sind sowieso im Rennen: Google, Amazon, Microsoft, IBM und Alibaba geben dem Thema höchste strategische Priorität.

SCHWEIZ GUT POSITIONIERT
Die Schweiz ist vorne mit dabei: In Rüsch- likon beschäftigen sich rund 30 Wissen- schaftler mit dem Thema, das Labor hat innerhalb von IBM die weltweite Führungs- rolle bei Quantenanwendungen im Bereich Finanzen und Optimierung. Die ETH Bernbetreibt mit Microsoft ein gemeinsames Entwicklungszentrum, der Software- konzern finanziert 15 Doktoranden an der EPFL und der ETH. Drei weitere Forscher sitzen im Zürcher Stadtzentrum, eine Ent- wicklungsguppe in Wollishofen. Auch das Forschungslabor am Microsoft-Hauptsitz in Redmond, wo 260 Forscher und Ingeni- eure am Thema arbeiten, wird von einem Ex-ETHler geleitet: Donald Kossmann, in der Schweizer Start-up-Szene auch als Mit- gründer von Teralytics bekannt. Er hat zahlreiche Universitätskollegen nach Red- mond geholt: «Wir haben hier ebenso grosse Freiheiten zu forschen wie an der Uni, aber mehr Mittel», sagt Kossmann. «Und die Forschungskultur ist ähnlich: Wir wollen an Technologien arbeiten, die die Welt verändern.»

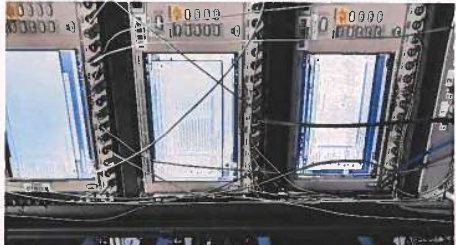


KABELSALAT
Eine ganze Armada an Mess- und Steuerungs- geräten ist nötig, um den Quanten- rechner im IBM- Labor Rüschlikon zu betreiben.

In Zürich an der ETH sind derzeit 18 Forschungsgruppen mit über 200 Forschenden im Bereich Quanten- computing tätig. Beim EU-Förder- programm ist die ETH in 6 der 20 Projekte mit dabei. Seit Kurzem bietet sie sogar einen Master- studengang in Quantum Enginee- ring an, derzeit sind 25 Studenten eingeschrieben. Auch Google will mit den beiden technischen Hoch- schulen zusammenarbeiten: «Die Schweiz ist gut positioniert bei dem Thema, weil sie die Bedeutung schon früh erkannt hat», sagt Hidiray und lobt auch die Universität Genf mit ihrem Spin-off ID Quantique (siehe «Sensoren und Kommunika- tion» rechts): «Aber jedes Land muss jetzt seine Anstrengungen noch einmal verdoppeln, auch um genug Spezialisten auszubilden.»

„ICH KANN MIR KEINE INDUSTRIE VORSTELLEN, DIE NICHT BETROFFEN IST!“ JACK HIDARY, GOOGLE

Fotos: Peter Fuchs (1)



36 Prozent aller Konzerne wer- den sich des Themas Quantencom- puting in den nächsten zwei Jahren annehmen, so eine WEP-Studie. Bis- her stecken die praktischen Anwen- dungen freilich noch in den Kinder- schuhen; Mercedes und Volkswagen arbeiten mit Quantenhilfe an der Entwicklung von Batterien für Elek- troautos. Der Wolfsburger Konzern forscht zudem an der Steuerung von Verkehrsflüssen: Vorletzten Novem- ber hat er während der Digitalkonfe- renz Web Summit in Lassabon die schnellste Route für Busse durch die Staus der überfüllten Innenstadt und den gezielten Einsatz von Zusatzbussen berechnen lassen. Mehrere tausend Passagiere sollen so während des Grossereignisses schneller ans Ziel gelangt sein. VW will das System nun zur Marktreife entwickeln und visiert Verkehrsbetriebe als Kunden an. Die Investmentbank J.P. Morgan forscht in Zusammenarbeit mit IBM daran, wie Quantencomputer finan- zielle Risiken berechnen können. Die Unternehmen Merck, Honda, Barclays und Samsung gehören ebenfalls zu den Early Adopters. Hauptsächlich geht es darum, Er- fahrungen mit der Programmierung von Quantenrechnern zu sam- ▶

Sensoren und Kommunikation
Während Quantencomputing noch mit massiven Kinderkrankheiten kämpft, ist man bei anderen Anwendungen der Quantentechnologie schon weiter. Die Universität Nottingham hat einen Scanner entwickelt, der mit Hilfe von Quantensensoren Gehirnströme präzise messen kann, günstiger und schneller als mit herkömmlichen Methoden. Die US-Firma AOSense arbeitet an einem hoch- präzisen Navigationssystem mit Quantensensoren, das ohne GPS auskommt. ID Quantique, ein Spin-off der Uni Genf, wurde bereits 2001 gegründet - «vermutlich zu früh», sagt Gründer und Chef Grégoire Ribordy. Die Firma stellt hochempfindliche Quanten- sensoren her, die etwa die Glas- faserkabel in der Ariane-6-Rakete auf Funktionsfähigkeit testen. Die 110 Mitarbeiter erwirtschaften einen zweistelligen Millionen- umsatz, wegen der nötigen Investition ist die Firma noch nicht profitabel. 2018 stieg der südko- reanische Carrier SK Telecom mit 65 Millionen Dollar bei der Firma ein. Heuer lanciert ID Quantique einen Chip, der in Smartphones eingebaut wird und sichere Kom- munikation ermöglicht. China hat bereits einen Kommunika- tionsatelliten mit unknackbarer Quantenschlüsselbesetzung ins All geschossen.



EMPFINDLICH
Der Gehirnschanner der Universität Nottingham misst Hirnströme mit Hilfe von Quantensensoren.

► meln, denn auch die Softwarearchitektur unterscheidet sich grundlegend von jener klassischer Computer.
«Ich kenne aktuell keine Unternehmen, die über den Forschungscharakter hinaus Quantencomputer einsetzen», sagt Claus Herbolzheimer, Leiter Digitales beim Beratungsunternehmen Oliver Wyman: «Vom regelmäßigen Einsatz in echten Anwendungsfeldern sind wir noch weit entfernt.» Auch Microsoft-Forscher Kossman sagt: «Es gibt heute keine seriöse Anwendung, die auf dem Quantenrechner läuft.» So ist auch ABB erst ganz am Anfang: Chief Digital Officer Guido Jouret stellt gerade ein kleines Team von Spezialisten zusammen, das irgendwann auf 100 Mitarbeiter anwachsen soll. «Als Erstes müssen wir passende Probleme finden, die wir mit Quantentechnologie angehen können», sagt er. Jouret hofft, eines Tages die Entwicklung von Transformatorn und Isolatoren mit Quantenhilfe dramatisch beschleunigen zu können.

WAHRE SENSIBELCHEN

Eines Tages, denn momentan sind die technischen Probleme noch gewaltig. Zum einen muss der Quantencomputer im Betrieb auf -273 Grad heruntergekühlt werden, eine Temperatur, kälter als im Weltall und nur ein paar Milligrad über dem absoluten Nullpunkt. Zudem muss der Rechner per seil von Licht, Lärm, Vibrationen und elektromagnetischen Spannungen abgeschirmt sein. «So eine Umgebung hat nicht jedes Unternehmen zu Hause stehen», sagt Herbolzheimer. Denn die subatomaren Teilchen sind wahre Sen-

sibelen: Ihr Zustand ist sehr flüchtig und ändert sich bisweilen schon allein durch die Betrachtung. Dass der Google-Durchbruch mit 53 Qubits erreicht wurde, obwohl das Gerät eigentlich 54 zur Verfügung gehabt hätte, spricht ebenfalls Bände - eine der hochempfindlichen Steuerungseinheiten ging defekt. Schlimmer noch: Quantenrechner machen winzige Fehler, die sich summieren. Jede tausendste bis hundertste Operation ist fehlerhaft. «Wenn man viel rechnet, ist das inakzeptabel hoch», sagt Matthias Troyer, der von der ETH ans Quantenlabor von Microsoft in Redmond wechselte. So kann auch der beste Quantenrechner heute nur rund 30 Millisekunden fehlerfrei laufen. Momentan behilft man sich, indem die gleiche Operation tausendfach wiederholt und ein Rechenfehler so identifiziert wird - eine groteske Verschwendung von Rechenkapazität. «Für einen voll funktionsfähigen

Geldstrom

Investments in Quantencomputing und -software 2012-2018 nach Firmen



Quelle: Heuris



DIE NASE VORN
IBM-Forscherin Heike Riel inspiziert den Quantencomputer bei IBM-Forschungslabor in Rueschlikon.

Quantencomputer braucht es noch Jahre», sagt Herbolzheimer. Auch die von Google verkündete Quantenüberlegenheit ist kritisch zu sehen. Zum einen war das gelöste mathematische Problem ohne jegliche praktische Relevanz, zum anderen wurde der Rechner speziell für die Aufgabenstellung konstruiert. «Und ein herkömmlicher Supercomputer würde nicht zehntausend Jahre dafür brauchen, sondern circa zwei bis drei Tage, wenn man das Problem etwas smarter angeht», sagt IBM-Frau Riel. Nicht zu Unrecht hat Google-Chief Sundar Pichai das Ereignis nicht mit dem ersten Flug der Gebrüder Wright verglichen: Er dauerte nur zwölf Sekunden und hatte keinen praktischen Nutzen. Aber er zeigte, dass Fliegen machbar ist, und lautete das Luftfahrtzeitalter ein.

Noch ist also viel Hype um das Thema. «Wir können noch kein relevantes Problem mit Quantencomputing schneller oder billiger lösen als mit klassischen Computern», sagt Torsten Hoefler, der für Microsoft und die ETH am Thema forscht: «Aus Geschäftssicht macht es keinen Sinn - keine Ahnung, wann der erste Business Case auftaucht.» Wann Quantenrechner so allgegenwärtig werden wie heutige Data-Center, darüber gehen die Meinungen ebenso weit auseinander wie bei der Frage, wann selbstfahrende Autos die Strassen dominieren werden: Von wenigen Jahren bis zu mehreren Jahrzehnten reichen die Schätzungen. «Für einen universell anwendbaren Quantencomputer sind 30 Jahre keine unrealistische Zeitspanne», sagt gar John Preskill vom California Institute of Technology, der den Begriff «Quantum Supremacy» prägte. Derzeit scheint Quantencomputing also ähnliche Charakteristiken zu haben wie ein Qubit: Es ist da, zugleich aber auch nicht.

Foto: Peter Fuchs

CARTE BLANCHE



JACQUELINE JACON
ist Geschäftsinhaberin
im Bereich Energie
der Wirtschaft (EnAW)

„Geht nicht“ geht gar nicht

Das CO₂-Ziel «netto null bis 2050» ist gesetzt. Jetzt geht es um die Frage, wie wir das erreichen können. Und welchen Beitrag die Wirtschaft dazu leisten kann.

Grünausschuss und Gesetzesrevision. An Energie- und Klimathemen kommt spätestens seit dem letzten Jahr niemand mehr vorbei. Das Pariser Klimaabkommen und damit verbunden das vom Bundesrat gesetzte Ziel «netto null bis 2050» stellt uns vor grosse Herausforderungen. Illusion oder Vision? Beschneidung der Lebensqualität oder Voraussetzung für eine umwelt- und lebensfähige Zukunft? Radikaler Wandel von Wirtschaft und Gesellschaft, subito und jetzt? Schränkt der Klimawandel die individuelle Freiheit, Kernstück des Liberalismus, ein?

«Die Freiheit des Einzelnen endet dort, wo die Freiheit des Anderen beginnt», sagte Immanuel Kant. Ein hehrer Anspruch. Kennt doch das Klima keine Grenzen, welche die Freiheit des Einzelnen oder die Freiheit eines Staates definieren würden. Der Klimawandel ist ein kollektives Problem. Doch statt Klarheit herrscht eher Ratlosigkeit über den einzuschlagenden Weg. Was ist zu tun? Wer hat einen Plan, wie wir der Herausforderung mit Verantwortungsbewusstsein begegnen können? Genau vor einem Jahr begann ich meine Arbeit bei der Energie-Agentur der Wirtschaft (EnAW). Ich entschied mich auch für den Job, weil die EnAW nicht über Klimawandel redet, sondern einen klaren Plan in der drängenden Klimafrage hin zu «netto null» hat und handelt. Eine Antwort auf die Frage, die alle Unternehmen beschäftigen: Wie bringe ich den CO₂-Ausstoss des Unternehmens runter? Wo beginne ich? Welche Reihenfolge ist bei der Umsetzung von Massnahmen sinnvoll? Welche technischen Möglichkeiten gibt es, und welche kommen in absehbarer Zeit dazu? Woran muss ich heute schon denken, um für den übernächsten Schritt die richtige Grundlage zu legen?

Dekarbonisierung des Energieinputs ist ein Prozess, und genau diesen diskutieren und lösen unsere Fachexperten im Dialog mit den Unternehmen. Heute ist ungefähr die Hälfte des gesamten CO₂-Ausstosses der Wirtschaft von Zielvereinbarun-

gen mit der EnAW abgedeckt. Die rund 4000 Unternehmen, die mit uns arbeiten, reduzieren mit den seit 2001 umgesetzten Massnahmen um gut 2,3 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr. Das Ziel «netto null» ist für viele unserer Firmen bereits Wirklichkeit und in Reichweite. Die vollständige Dekarbonisierung ist Teil ihrer Strategie, weil sie doppelt sinnvoll ist: ökologisch und ökonomisch. Investitionen in Effizienzverbesserungen und Prozessoptimierungen sind Unternehmensentwicklung. Sie stärken die Innovation, die Wettbewerbsfähigkeit und die Reputation. «Netto null bis 2050» für die Wirtschaft ist dennoch ambitioniert. Um den steilen Absenklad zu realisieren, reichen die heute typischen Massnahmen nicht. Klimaneutralität erfordert das Ausschöpfen von Effizienzpotenzialen, die Wärmegewinnung und Abwärmenutzung über einzelne Produktionsstandorte hinaus inklusive der dafür notwendigen, langfristigen Planung von Wärmenetzen sowie die Umstellung von Prozessen und Produkten und die Substitution der Energieerzeugung und Wärmennutzung. Und es bleiben Versorgung durch erneuerbare Energien. Kurz gesagt: Nötig ist ein massiver Umbau der Wärmeemissionen, welche sich nur massgeblich reduzieren lassen, wenn ein extremer Aufwand getrieben wird oder gar gewisse Produkte nicht mehr hergestellt werden. Wollen wir das?

Dieser Prozess ist von den Rahmenbedingungen abhängig. Er kann mit verschiedenen Instrumenten beeinflusst werden. Sie reichen von kommunalen Energieplanung über die Förderung von neuen Technologien und Pilotprojekten bis hin zur Beeinflussung der Energie- und CO₂-Preise. Die Weichen dafür stellt die Politik. «Netto null bis 2050» ist auf Zusammenhalt, Erfahrung und Wille angewiesen. Der Weg dahin ist anspruchsvoll. Als Bindeglied zwischen Wirtschaft und Politik und mit unserer breiten Vernetzung in Wissenschaft und Gesellschaft wollen wir den Weg gemeinsam Schritt für Schritt gehen, um das Ziel im anvisierten Zeitrahmen zu erreichen - auch wenn heute noch mancher Abzweig unbekannt und manches Hindernis vor uns sein mag. «Geht nicht» geht auf jeden Fall gar nicht!

Die vollständige Dekarbonisierung ist für Unternehmen doppelt sinnvoll: ökologisch und ökonomisch.