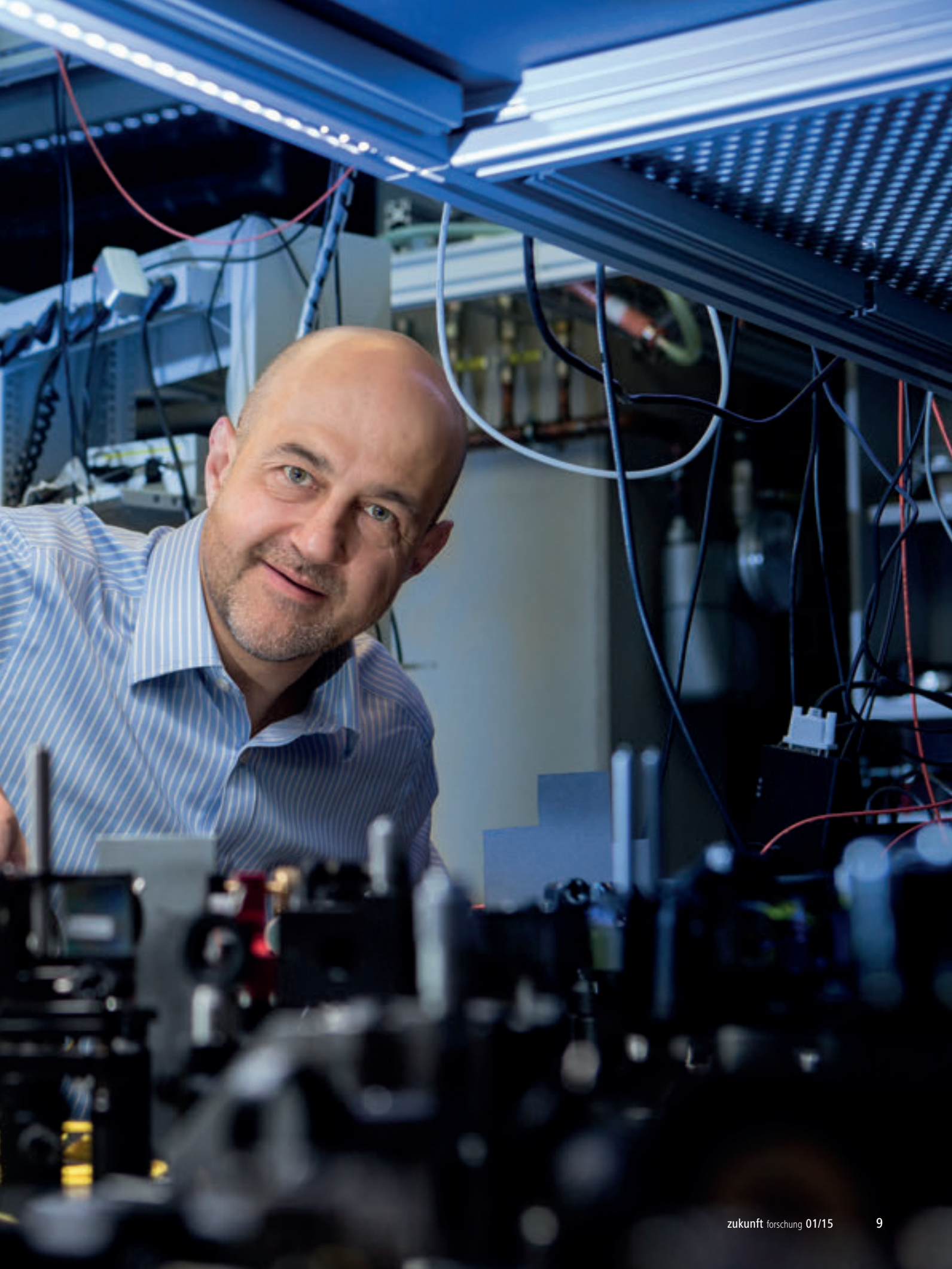
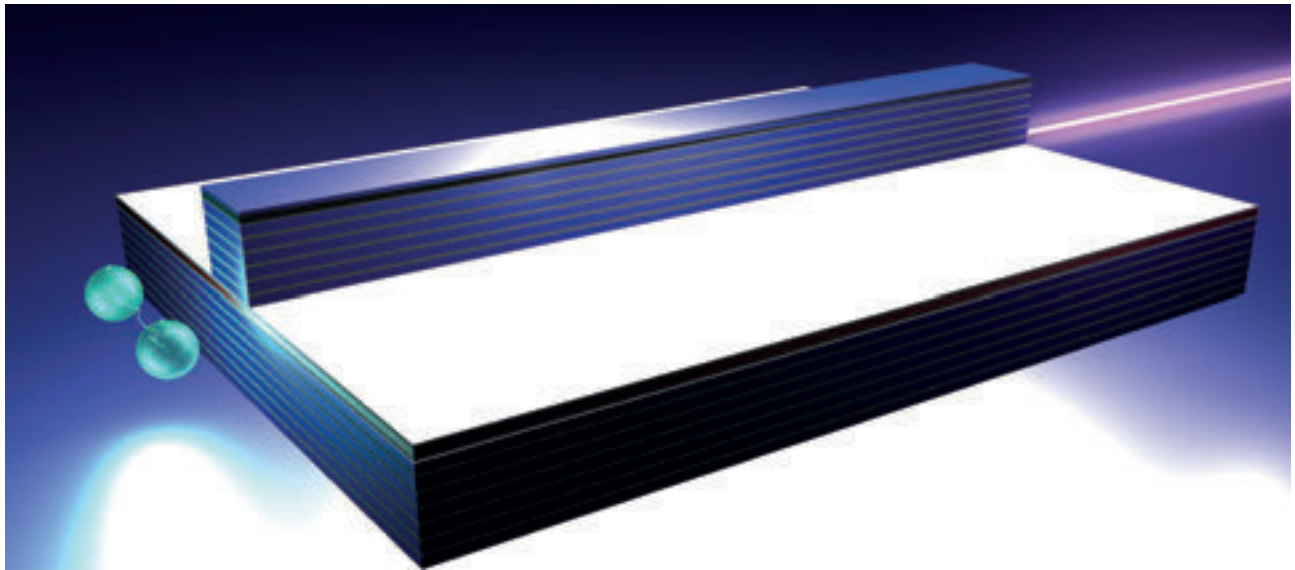


DER PHOTONENMACHER

Der Experimentalphysiker Gregor Weihs arbeitet mit seiner Forschungsgruppe an neuartigen Lichtquellen, die mit einzelnen Photonen und verschränkten Photonenpaaren Quanteninformationen effizienter und kontrollierter übertragen können.





LASERLICHT produziert in dem speziell strukturierten Halbleiter immer neue, verschränkte Photonenpaare.

Mit einem Klempner kommt Gregor Weihs wohl auf keinen grünen Zweig, beschreibt er sein Forschungsziel doch mit dem Alptraum des Handwerkers: „Wie ein tropfender Wasserhahn soll es sein.“ Doch die Klempnerzunft muss keine Angst haben, Weihs lernt nicht das Handwerk seines Großvaters, Onkels und Cousins, er lehrt Physik an der Universität Innsbruck und erforscht am Institut für Experimentalphysik die Welt der Photonen, der Lichtteilchen.

„Wir wollen neuartige Lichtquellen für Photonen und verschränkte Photonenteile konstruieren, die bei Anwendungen, die in den letzten zehn, zwanzig Jahren in der Quantenoptik entwickelt wurden, zum Einsatz kommen“, sagt Weihs. Klassische Lichtquellen wie auch der Laser seien für diese Anforderungen zu „unsauber“, sprich unregelmäßig, so Weihs, verschicken sie doch Lichtteilchen vergleichbar mit Regentropfen, die auf eine offene Hand fallen: einer hier, ein anderer dort, einer jetzt und ein anderer später. Ein Horror für Präzision gewohnte Forscher, die Quantenoptik-Anwendungen zum Beispiel für die Quantenkryptografie oder etwa einen potenziellen Quantencomputer einsetzen wollen.

„Wir wollen neuartige Lichtquellen für quantenoptische Anwendungen konstruieren.“

Gregor Weihs

Alice & Bob

Die Kryptografie, die Verschlüsselung von Informationen, ist wahrscheinlich so alt wie die Menschheit – und ebenso alt sind die Versuche, verschlüsselte Botschaften zu knacken. Kein Wunder also, dass immer wieder der perfekte Code gesucht wird – mit Hilfe der

Quantenmechanik wurde er gefunden. Alice schickt Bob – die Synonyme für Sender und Empfänger – den Schlüssel, um Botschaften zu dechiffrieren, via Photonen, die in vier möglichen, zufällig gewählten Polarisationszuständen codiert sind. Bob misst die Polarisation der eintreffenden Photonen ebenfalls nach Zufallsprinzip, über Sendebasis und Empfängerbasis tauschen sich Alice und Bob aus und erhalten via Übereinstimmungen einen Schlüssel. Warum aber kann dies nicht ausspioniert werden? Weil nach der Heisenberg'schen Unschärferelation kein Photon gemessen werden kann, ohne gestört zu werden. Zudem können Photonen nicht ohne beträchtlichen Informationsverlust kopiert werden. Wichtig ist daher, dass Alice an Bob nur ein Photon und nicht zwei Photonen mit der gleichen Polarisation gleichzeitig schickt – es braucht also eine verlässliche Einphotonenquelle.

Ebenfalls eine verlässliche Quelle benötigt ein Quantencomputer, zu dessen Realisierung die Verschränkung von Teilchen als Voraussetzung gilt. Zur Erzeugung dieses – von Albert Einstein spukhafte Fernwirkung genannten – Phänomens gibt es, berichtet Gregor Weihs, eine herkömmliche Methode. Man schickt mit einem Laser ein Photon mit hoher Energie in einen Kristall, wo es zu einem verschränkten Paar von Photonen mit niedrigerer Energie aufgespalten wird. Doch man weiß nicht, wann man ein verschränktes Photonenteilchen erhält, da die Lichtteilchen in nicht regelmäßigen Abständen auf den Kristall treffen. Zudem benötigt man für diese Methoden üblicherweise große Labortische mit komplizierten Aufbauten. Beiden dieser Probleme, der Unregelmäßigkeit und der Größe der An-

lagen, widmet sich der Innsbrucker Weihs mit seiner Forschungsgruppe – sie setzen dabei auf Halbleiterchips und Quantenpunkte.

Maulwurfshügel

„Ein Quantenpunkt ist eine Ansammlung von Atomen auf engstem Raum, die sich dadurch wie ein Atom verhalten“, erklärt der Physiker. „Hergestellt“ werden Quantenpunkte, indem ein Halbleitersubstrat bei sehr hoher Temperatur auf einen Wafer aus einem anderen Halbleitermaterial aufgetragen wird. Als Reaktion entstehen auf dem Wafer kleine, maulwurfshügelartige Inseln mit einem Durchmesser von circa 20 Nanometer und einer Höhe von zehn Nanometer.

Der Quantenpunkt verhält sich wie ein Atom. Durch Zufuhr von Energie springen die Elektronen auf eine größere, weiter außen liegende Bahn – das Elektron ist „angeregt“. Springt es von diesem Zustand wieder nach innen, wird ein definierter Energiebetrag freigesetzt und in Form eines Photons emittiert. „Der Vorteil von Quantenpunkten ist ihre Größe. Zudem sind sie am Wafer fest verankert, halten über Jahre und sind gegenüber Atomen schnellere Photonenemitter“, beschreibt Weihs seine Maulwurfshügel, die er mit seinem Team in der Zwischenzeit ganz gezielt anregen kann. „Wir schicken von der Seite einen Laser rein und geben genau die richtige Energie, damit die emittierten Photonen gut genug für die Quantenanwendung sind“, so Weihs. Alle 14 Nanosekunden trifft der Anregungslaser auf den Quantenpunkt, „Weltrekord für eine Einphotonenquelle mit der besten Unterdrückung von Mehrphotonenemissionen“, lacht Weihs.

Doch die Innsbrucker Experimentalphysiker geben sich mit der Einphotonenquelle nicht zufrieden. „Wir nutzen die Quantenpunkte auch, um verschränkte Photonenpaare herzustellen“, schildert Weihs. Mit einer speziellen

Technik wird der Quantenpunkt fast gleichzeitig zweimal, sozusagen mit einer überlagerten Anregung, angestoßen. „Das Photonenpaar ist so nicht über die Polarisation, sondern über die Zeit verschränkt“, verdeutlicht der Forscher. Eine „Verschränkungsart“, die einen entscheidenden Vorteil birgt. „Polarisierte Photonen können nur über eine bestimmte Distanz durch eine Glasfaser übertragen werden. Danach beginnt sich die Polarisation geringfügig zu ändern und es kommt zu Übertragungsfehlern. Bei zeitlich verschränkten Photonen ist das nicht der Fall“, beschreibt Weihs einen weiteren Vorteil seiner Quantenpunkt-Lichtquelle. Die allerdings auch einen Nachteil hat: „Wir arbeiten dabei mit Temperaturen um die vier Kelvin.“

Da die umgerechnet minus 269 Grad Celsius nicht unbedingt für den Praxiseinsatz tauglich sind, arbeitet Gregor Weihs mit Kollegen aus Deutschland an einer anderen Photonenquelle für Raumtemperaturen. „Wir wollen möglichst viele quantenoptische Funktionen auf einen wenige Millimeter großen Chip bringen“, konkretisiert der Wissenschaftler das Vorhaben. Zum Einsatz kommt dabei ein in Schichten aufgebauter „Halbleiterwellenleiter“, der nur ein paar Mikrometer breit ist und in dem ein Photon in zwei verschränkte Photonen gespalten werden kann. „Wir können den Laser, den es dazu braucht, zu dem Wellenleiter auf den Chip packen“, stellt Weihs fest. Kontakte am Chip sorgen für den „Stromanschluss“ des Lasers, am Ende des Wellenleiters wartet ein Glasfaserkabel auf das verschränkte Photonenpaar. „Einzelne Photonen oder Photonenpaare können wir damit nicht erzeugen“, räumt Weihs ein, dass der Halbleiterwellenleiter kein „tropfenden Wasserhahn“ ist, der konstant und regelmäßig Lichtteilchen emittiert: „Er kann aber auch für Quantenkryptografie eingesetzt werden, die Methode ist einfach eine andere.“

ah 



GREGOR WEIHS, Jahrgang 1971, studierte an seinem Geburtsort Innsbruck von 1989 bis 1994 Physik. Ab 1995 war er Assistent in der Arbeitsgruppe von Anton Zeilinger, bei dem er auch 1999 dissertierte. Zwischen 2001 und 2005 war Weihs als Post-Doc in Tokio und Stanford, eher er 2005 als Associate Professor an die University of Waterloo in Kanada wechselte. 2008 wurde Weihs an die Universität Innsbruck berufen, wo er am Institut für Experimentalphysik die Arbeitsgruppe Photonik leitet. Im Jahr 2010 wurde Weihs mit dem ERC Starting Grant ausgezeichnet.

EINDRUCKSVOLL bestätigte Gregor Weihs im Jahr 2014 mit Forschern der University of Waterloo in Kanada die Richtigkeit der Quantenmechanik. 1997 hatte Weihs im Rahmen seiner Dissertation in Innsbruck verschränkte Photonenpaare in einer Distanz von 400 Metern gemessen und dabei die Korrelationen der Photonen statistisch nachgewiesen. In Kanada wiederholte er das Experiment mit jeweils drei verschränkten Photonen – zwei wurden über Freistrahlstrecken in hunderte Meter entfernt stehende Messstationen übertragen, das dritte wurde am Ort der Photonenquelle gemessen. Echte Zufallsgeneratoren steuerten den rund eineinhalbstündigen Messprozess, in dem die Polarisation der drei Photonen parallel gemessen wurden. „Mit dem Experiment konnten wir die Verschränkung der Photonen statistisch klar nachweisen“, sagt Weihs.

