

ultrakurzer Pulse ein alltägliches Verfahren geworden, und Flüssigkristall-Arrays, die genauso wie ein Flachbildschirm funktionieren, erlauben es, die Phase sogar frei zu programmieren. Das ist hier auch erforderlich: Um zu überprüfen, ob N durch ℓ teilbar ist, muss für jedes ℓ der durch Gl. (2) definierte Phasenverlauf programmiert und danach die Intensität bei der Zentralwellenlänge ($\Delta\omega = 0$) gemessen werden. Maximale Intensität ist nur dann zu erwarten, wenn ℓ ein Teiler von N ist. Damit hat man einen Analogcomputer zur Division natürlicher Zahlen realisiert. Interessanterweise genügen schon sehr wenige Pulse m , um die Teilbarkeit zu überprüfen. Nach der Faktorisierung von fünfstelligen Zahlen [3] mit diesem Verfahren sind inzwischen erhebliche weitere Fortschritte erzielt worden.

Mithilfe prinzipiell ähnlicher Methoden, die allerdings auf NMR-Techniken beruhen, haben Xinhua Peng und Dieter Suter sogar 17-stel-

lige Zahlen zerlegt [4]. Jedoch sind für die vollständige Faktorisierung von N immer alle Zahlen bis $\ell = \sqrt{N}$ zu testen. Damit wächst auch für dieses auf klassischer Physik beruhende Verfahren der Rechenaufwand mit der Größe der zu faktorisierenden Zahl exponentiell an.

Nun lässt sich aber bekanntlich die quantenmechanische Verschränkung ausnutzen, um Rechenoperationen massiv zu parallelisieren. Diese Tatsache liegt dem Quantencomputer zu Grunde. Im Falle der Faktorisierung bedeutet dies, alle in Frage kommenden möglichen Teiler gleichzeitig zu testen. Zu einer wirklich schnellen Primzahlzerlegung wären die von Schleich et al. vorgestellten Methoden also noch mit quantenmechanischer Verschränkung zu kombinieren. Einen guten Ansatz dazu bietet möglicherweise eine Variante des Verfahrens, die auf kalten Atomen in einer magneto-optischen Falle beruht [5]. Diese werden durch einen $\pi/2$ -Puls zu-

nächst polarisiert. Mit einer Serie von π -Pulsen geeigneter Phase prägt man dann Gauß-Summen auf und liest die Polarisation durch einen abschließenden $\pi/2$ -Puls aus. Sollte sich ein Weg finden, Gauß-Summen mit verschränkten physikalischen Systemen darzustellen, so wären weitreichende Konsequenzen nicht nur für die wenigen Anwendungen der Zahlentheorie in der Kryptographie, sondern auch für ihr Verhältnis zur Physik zu erwarten.

Gernot Stania und Gerhard G. Paulus

- [1] H. F. Talbot, *Philos. Mag.* **9**, 401 (1836)
- [2] M. V. Berry, I. Marzoli und W. P. Schleich, *Phys. World*, Juni 2001, S. 39
- [3] D. Bigourd, B. Chatel, W. P. Schleich und B. Girard, *Phys. Rev. Lett.* **100**, 030202 (2008)
- [4] X. Peng und D. Suter, <http://arXiv.org/abs/0803.3396>
- [5] M. Gilowski, T. Wendrich, T. Müller, Ch. Jentsch, W. Ertmer, E. Rasel und W. P. Schleich, *Phys. Rev. Lett.* **100**, 030201 (2008)

Dr. Gernot Stania, MPI für Quantenoptik, 85748 Garching, und Prof. Dr. Gerhard G. Paulus, Institut für Optik und Quantenelektronik, 07743 Jena

SPÜRNASE IM ALL

Umweltforschern der Universität Bremen ist es erstmals gelungen, mithilfe von Satellitenmessungen erhöhte regionale Konzentrationen des Treibhausgases Kohlendioxid (CO_2) nachzuweisen, die vom Menschen verursacht wurden (Abb. unten). Sie verwendeten dazu Daten des Instruments SCIAMACHY^{*)}, das unter Federführung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) gebaut wurde und sich auf dem von der ESA betriebenen Umweltsatelliten ENVISAT befindet (Abb. oben).

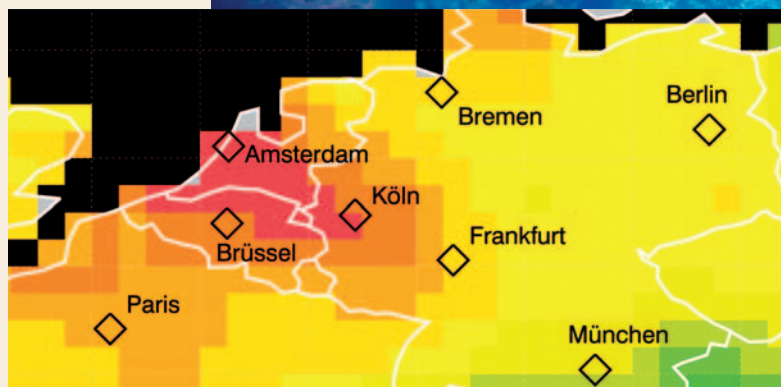
SCIAMACHY misst die von Erdboden und Atmosphäre zurückgestreute Sonnenstrahlung. Daraus lassen sich die Konzentrationen einer Vielzahl von Spurengasen in der Atmosphäre bestimmen, u. a. auch für Kohlendioxid. Hohe Werte (rot) zeigen sich besonders über Europas Hauptballungsgebiet, das sich von Amsterdam bis etwa Frankfurt erstreckt. Richtung Osten nimmt der CO_2 -Anteil ab (grün).

Allerdings ist die Zuordnung zwischen einer gemessenen hohen Konzentration in der Atmosphäre und der lokalen Emissionsquelle nicht einfach, da CO_2 eine lange Lebensdauer aufweist und weit transportiert wird. Außerdem führt selbst eine starke anthropogene Quelle nur zu einer kleinen regionalen Erhöhung gegenüber der großen Hintergrundkonzentration. Zusätzlich erschweren auch jahreszeitliche Schwankungen die Interpretation der Daten. Neue mathematisch-physikalische Methoden erlauben aber nun eine Auswertung, die regionale CO_2 -Konzentrationsmuster zeigt.

O. Schneising et al., *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* **8**, 5477 (2008)



Bilder: IUP, U Bremen, DLR, ESA



*) Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography