

## Schnappschuss einer Lichtwelle

### *Ein neues Rezept zur Erzeugung kürzester Laserpulse*

Um schnelle physikalische oder chemische Vorgänge sichtbar zu machen, braucht man möglichst kurze Laserpulse. Die Realisierung von Röntgenstrahlungspulsen im Attosekundenbereich ( $10^{-18}$  s) mit Hilfe von intensiven Femtosekunden-Lichtpulsen scheiterte bis heute daran, dass sich die Phase der Lichtpulse nur ungenügend kontrollieren lässt. Eine neue Methode der Phasenkontrolle verspricht hier Abhilfe.

Zupft man die tiefste Saite eines Kontrabasses an, so kann man, wenn man genau hinschaut, den tiefen Ton, den man hört, zugleich auch sehen. Das Hin- und Herschwingen der Saite ist dann so langsam, dass man sie prinzipiell sogar nach einem einzigen Schwingungszyklus wieder festhalten könnte. Damit hätte man den Ton gleichsam in seine kleinste Einheit zerlegt: eine einzige Schwingung.

Auch Licht besteht aus Schwingungen, freilich nicht von Luft, sondern von elektromagnetischen Feldern. Die Frequenzen dieser Schwingungen sind viele Billionen Mal so hoch wie die des Kontrabasses. Und dennoch haben sich Physiker seit einiger Zeit das hehre Ziel gesetzt, Lichtpulse zu erzeugen, die aus wenigen oder gar nur einer einzigen Schwingung bestehen. Einen wichtigen Beitrag dazu hat jetzt ein Forscherteam aus Österreich und Deutschland geleistet. Die Forscher um Theodor Hänsch vom Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching und Ferenc Krausz von der Technischen Universität Wien haben jüngst eine Methode vorgestellt, mit der man genau bestimmen kann, an welchem Punkt des Schwingungszyklus – auch Phase genannt – ein Lichtpuls erzeugt wird.

Bereits seit der Erfindung des Lasers in den sechziger Jahren haben Wissenschaftler gelernt, immer kürzere Laserpulse zu erzeugen. Mit diesen kurzen Lichtpulsen lassen sich beispielsweise Materialien mit höchster Präzision bearbeiten oder schnell ablaufende chemische Reaktionen in Zeitlupe aufnehmen. Auch in der Laserchirurgie werden derartige Lichtpulse neuerdings häufig verwendet.

Das Prinzip, mit dem diese kurzen Pulse erzeugt werden, ist einfach. Anstatt Licht mit nur einer Frequenz im Laser zu erzeugen, werden Wellen mit verschiedenen Frequenzen so überlagert, dass sie sich die meiste Zeit gegenseitig auslöschen, da Wellentäler und Wellenberge aufeinander treffen. Für eine kurze Zeit jedoch haben alle Wellen an der gleichen Stelle einen Wellen-

berg, so dass sie sich verstärkend überlagern und ein kurzer, intensiver Lichtpuls entsteht.

Wichtig ist dabei, dass jede Lichtwelle mit der gleichen Phase zu schwingen beginnt, d. h., dass am Anfang alle Wellen beispielsweise einen Wellenberg aufweisen. Um dies zu gewährleisten, werden die Phasen der einzelnen Wellen aneinander gekoppelt. Mit dieser Methode gelang es bereits Anfang der siebziger Jahre, Pikosekundenpulse zu erzeugen, also Pulse, die weniger als den millionsten Teil einer Millionstelsekunde dauerten. Durch den geschickten Einsatz optischer Materialien konnten diese Pulse nochmals um das Hundertfache «gestaucht» werden. Das Resultat waren Pulse mit einer Dauer von wenigen Femtosekunden ( $10^{-15}$  Sekunden).

Das Interesse an solch kurzen Lichtpulsen ist dabei nicht nur akademischer Natur. Bündelt man nämlich einen solchen ultrakurzen Lichtpuls und richtet ihn auf ein Atom, so wird dieses gleichsam von einer «Lichtkugel» getroffen. Durch die extrem kurze Dauer des Pulses wird seine gesamte Energie auf kleinstem Raum gebündelt und das Atom damit sehr hohen elektromagnetischen Feldern ausgesetzt. Als Reaktion auf diese unsanfte Behandlung sendet das Atom nicht nur das eintreffende Licht wieder aus, sondern auch mehrere Obertöne, also Vielfache der ursprünglichen Frequenz. Mit dieser Methode der Frequenzvervielfachung versucht man, ultrakurze Lichtpulse in Röntgenpulse umzuwandeln und damit in einen Frequenzbereich vorzustossen, der heute mit Lasern nur schwer zugänglich ist.

Wird die Länge des Pulses allerdings so gering, dass nur noch etwas mehr als ein Schwingungszyklus des Lichts in ihn hineinpasst, so wird auch seine Phase extrem wichtig, da diese den Einfluss des Lichts auf das Atom stark beeinflusst. Mit einem ähnlichen Problem sieht man sich konfrontiert, wenn man eine Momentaufnahme von einer schwingenden Kontrabasssaite machen will: Bleibt die Blende der Kamera über mehrere Schwingungszyklen offen, so verwischt das Bild,

und es ist unerheblich, mit welcher Phase die Saite zu schwingen begonnen hat. Reduziert man jedoch die Belichtungszeit auf einen Bruchteil einer Schwingungsdauer, so wird man die Saite in einer ganz bestimmten Position auf der Aufnahme sehen, die dann stark davon abhängt, zu welchem genauen Zeitpunkt – also in welcher Phase der Schwingung – die Saite losgelassen wurde.

In bisherigen Experimenten mit Femtosekundenpulsen waren die Forscher bei der Wahl der Phase mehr oder weniger auf den Zufall angewiesen. Die von dem deutsch-österreichischen Team entwickelte Technik erlaubt es nun, kontinuierlich Pulse mit konstanter Phase zu erzeugen, die immer gleich aussehen. Indem die Wissenschaftler die Frequenz eines Teils des Laserlichts verdoppeln und dieses Licht dann mit dem eigentlichen Laserpuls überlagern, können sie die Phase des

Pulses bestimmen und damit auch kontrollieren.

Mit solchen kontrollierbaren Femtosekundenpulsen könnten in Zukunft kurz gepulste Röntgenstrahlen mit Lasereigenschaften erzeugt werden, die wiederum nur einige wenige Schwingungszyklen enthalten. Da die Frequenz der Röntgenstrahlen mehrere hundert Mal höher ist als die des sichtbaren Lichts, wären diese Pulse noch kürzer als die Femtosekunden-Lichtpulse: Nur einige Attosekunden, also den billionsten Teil einer Millionstelsekunde, brauchen Röntgenstrahlen, um einmal zu schwingen. Die Jagd nach immer kürzeren Laserpulsen geht also weiter.

*Oliver Morsch*

Der Autor hat Physik studiert und arbeitet derzeit als Postdoktorand an der Universität Pisa.

Quelle: Physical Review Letters 85, 740–743 (2000).