

# Dossier Geschwindigkeit

Fortsetzung von Seite 29

**A**ngenommen, ein Geschäftsreisender wird von seiner Ehefrau nach Schwechat gebracht. Der Geschäftsmann steigt in den Überschallflieger nach New York, seine Frau fährt ins Büro. Beide haben extrem genaue Atomuhren im Gepäck. Der Reisende führt seine Gespräche in New York und setzt sich in die nächste Überschallmaschine, die ihn nach Hause bringt. Seine Frau, die am Boden geblieben ist, holt ihn wieder am Flughafen ab. Jetzt machen die beiden einen Uhrenvergleich. Der überraschende Effekt: Auf der Atomuhr des Mannes sind einige Milliardstelsekunden weniger vergangen. Verantwortlich dafür ist das hohe Flugtempo, mit dem ein Überschallflugzeug den Atlantik überquert. Das Experiment zeigt: Zeit ist relativ!

Noch deutlicher tritt dieser Effekt auf, wenn man Objekte betrachtet, gegen die ein Überschallflugzeug sich geradezu im Schneckentempo bewegt: Beschleunigt man Elementarteilchen, die kleinsten Bausteine der Materie, auf mehr als 99 Prozent der Lichtgeschwindigkeit, dann erreichen selbst kurzlebige Teilchen ein überraschend hohes Alter: Im Vergleich zu Teilchen derselben Sorte, die sich in Ruhe befinden, geht ihre „innere Uhr“ deutlich langsamer. Teilchen, die sich bewegen, leben also länger.

## Einstein als Co-Pilot

Allerdings spielt bei unserem Flugreisenden ein weiterer Effekt eine Rolle, den die Spezielle Relativitätstheorie nicht erklärt. Ihn kann man erst im Rahmen der Allgemeinen Relativitätstheorie verstehen, die Einstein 1915 veröffentlicht hat: Uhren laufen umso langsamer, je näher sie sich an einer Schwerkraftquelle befinden, in unserem Fall der Erde. Würde der Reisende in New York aufs Empire State Building fahren, das 381 Meter hoch ist, dann



„Zeit ist das, was man von der Uhr abliest“, sagte Albert Einstein lapidar. Auf seine Theorien kam er bloß durch Gedankenexperimente. Er brauchte kein Labor, nur Kreide und eine Tafel. Foto: Photos.com

ginge seine Atomuhr auf der Aussichtsplattform minimal schneller als eine Uhr im Erdgeschoß. Alles weit weg von der Alltagswelt? Nicht ganz: Jeder, der in seinem Auto mit GPS (Global Positioning System) fährt, hat Einstein als Co-Piloten bei sich. Das GPS-System besteht aus 29 Satelliten, die um die Erde kreisen und Zeitsignale aussenden. Deren

Takt wird mithilfe genauer Atomuhren reguliert, und aus den Laufzeiten mehrerer Satellitensignale berechnet der Empfänger im Auto die aktuelle Position. Wegen der großen Entfernung von der Erde überwiegen – anders als bei unserem Flugreisenden – die Auswirkungen der Gravitation, und die Satellitenuhren gehen ein wenig schneller als auf der Erdoberfläche. Da die Satelliten mit über 10.000 Stundenkilometern durchs All sausen, ticken die Uhren an Bord langsamer als baugleiche Atomuhren auf der Erde und gehen jeden Tag ein paar Millionstelsekunden nach. Wenn die Ingenieure Einsteins Formel nicht berücksichtigt hätten, wüsste der Computer in ih-

rem Wagen nach ein paar Wochen nicht mehr, ob er gerade in Wien oder im Waldviertel steht. Ohne Einstein kämen Sie immer zu spät.

## Nette Mädchen und heiße Öfen

Die weltberühmte Formel  $E=mc^2$  ist eine weitere Konsequenz der Speziellen Relativitätstheorie. Sie besagt, dass Energie und Masse äquivalent sind. Jeder Energie entspricht eine definierte Masse; jeder Masse eine Energie. Für Physiker, die mit Teilchenbeschleunigern die kleinsten Strukturen der Materie untersuchen, gehört die Formel zum täglichen Brot. Führen sie ihren Elementarteilchen Energie zu, um sie fast auf Lichtgeschwindigkeit zu beschleunigen, erhöht sich auch die Teilchenmasse. Würden sie das nicht berücksichtigen, wenn Magneten die Teilchen auf eine Kreisbahn zwingen, ließen sich die Beschleuniger gar nicht erst in Betrieb nehmen. Der weltweit größte Teilchenbeschleuniger befindet sich am Cern, dem europäischen Teilchenphysik-Forschungszentrum nahe Genf. Einmal beschleunigt, werden die Teilchen zur Kollision ge-

bracht und offenbaren die zweite Facette der berühmten Formel: Dann verwandeln sich die Kollisionspartner in reine Strahlungsenergie, aus der massereiche Teilchen entstehen. Materie und Energie lassen sich ineinander umwandeln.

Der Physiker Guido Saathoff vom Max-Planck-Institut für Kernforschung in Heidelberg misst mit hochgenauen „Uhren“ die Dilatation. Lithium-Atome schwingen mit einer genauen Frequenz, Atome dienen damit quasi als Pendel der Uhren. Werden sie auf höhere Geschwindigkeiten gebracht, vergeht für sie die Zeit langsamer. „Wir haben das auf neun Stellen hinter dem Komma gemessen und können Einsteins Relativitätstheorien mit dieser Genauigkeit bestätigen“, so Saathoff.

Zu viel Physik?

Einstein selbst hat es einfach erklärt: „Wenn man zwei Stunden lang mit einem netten Mädchen zusammensitzt, meint man, es wäre eine Minute. Sitzt man jedoch eine Minute auf einem heißen Ofen, meint man, es wären zwei Stunden. Das ist Relativität.“

Ralf Dziobowski

„Was würde geschehen, wenn ich hinter einem Lichtstrahl hereilen und ihn schließlich einholen würde?“

ALBERT EINSTEIN  
ALS 17-JÄHRIGER

„Woher kommt es, dass mich niemand versteht und jeder mag?“

ALBERT EINSTEIN,  
1944