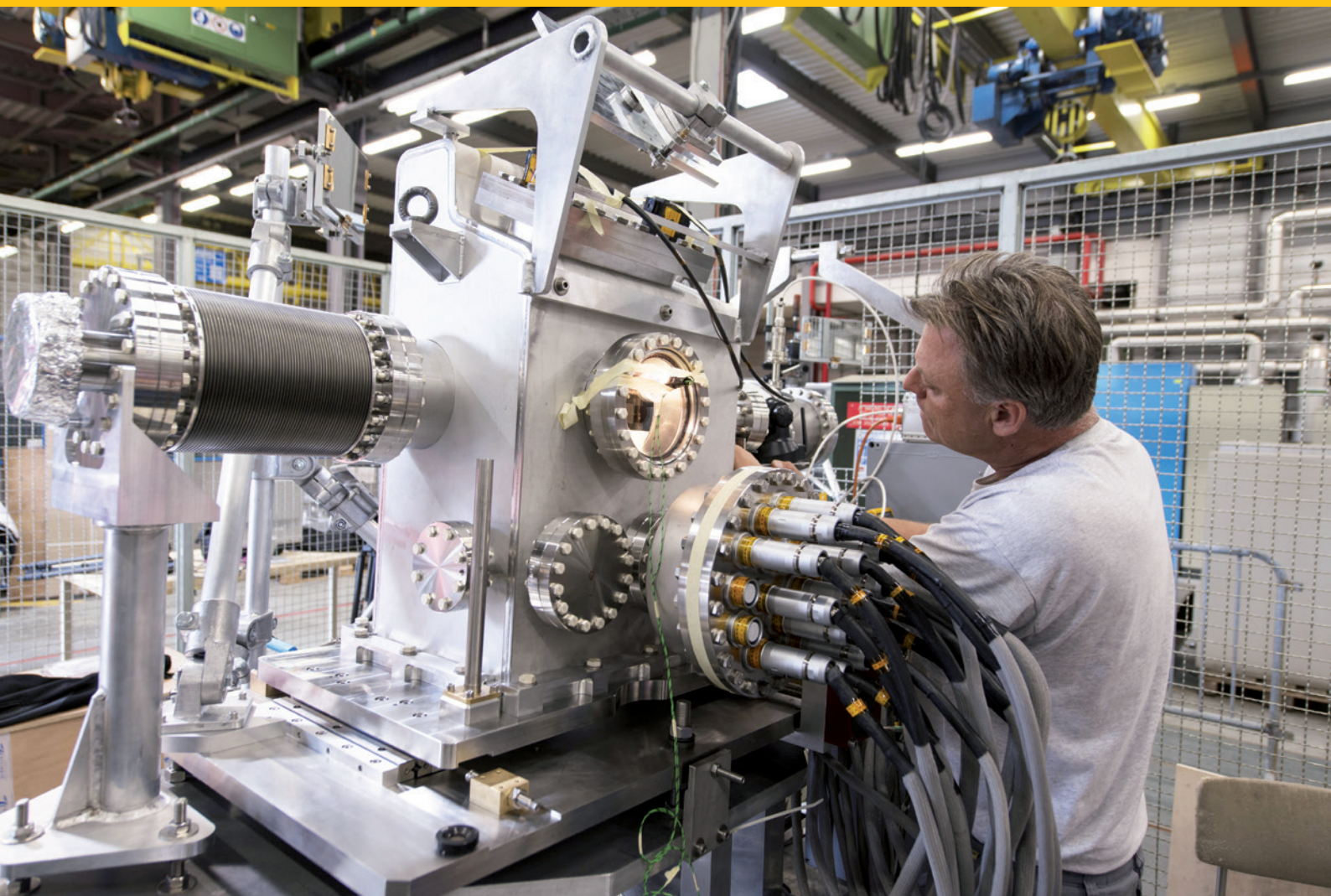
Polytec

Laservibrometer unter härtesten Bedingungen

Materialforschung am CERN

Applikationsnote

Die stetige Steigerung der verfügbaren Energien in Teilchenbeschleunigern, wie z. B. dem Large Hadron Collider (LHC) an der Europäischen Organisation für Kernforschung (CERN), erfordert eine Weiterentwicklung der Strahlreinigungs- und Schutzsysteme.



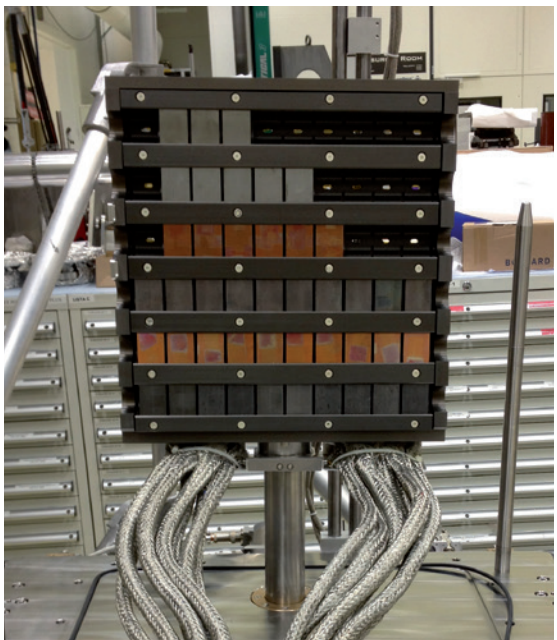
Mission possible

Ein Experiment zur Untersuchung von Hochleistungswerkstoffen durch Beschuss mit hochenergetischen Teilchenstrahlen am CERN

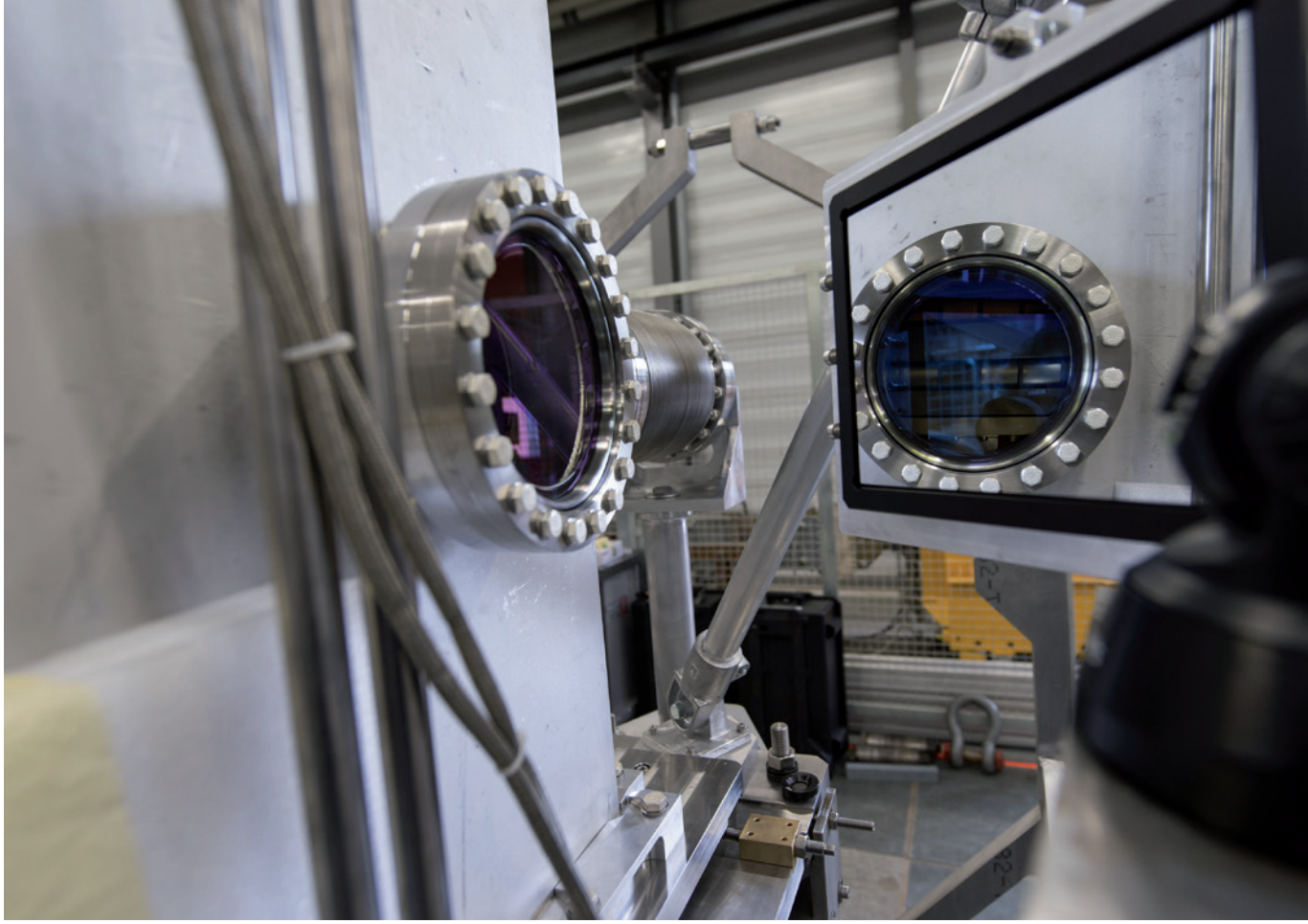
Was passiert, wenn hoch energetische Teilchenstrahlen auf Schutzeinrichtungen wie z. B. Kollimatoren treffen? Diese Frage ist für die Konstruktion von Teilchenbeschleunigern sehr wichtig. Die Kollisionen bewirken komplexe dynamische Phänomene wie Phasenübergänge von Materialien, erheblicheDichteänderungen, Druckwellenausbreitungen, Explosionen, Abplatzungen von Materialfragmenten usw. Diese wurden zunächst mit hochgradig nichtlinearen numerischen Modellen (sog. Hydrocodes) simuliert. Um experimentelle Daten für eine umfassende Charakterisierung wichtiger Werkstoffe zu erhalten, wurden im Oktober 2012 an der CERN-Anlage HiRadMat (High Radiation to Materials) entsprechende Experimente mit Messtechnik von Polytec durchgeführt.

Versuchsanordnung

Die Versuchsanordnung bestand aus einem Probenhalter für unterschiedliche Materialien, der das Testen von sechs verschiedenen Materialien (Bild **1**) unter Protonenbestrahlung mit verschiedenen Intensitäten bei einer Energie von 440 GeV ermöglichte. Die Materialproben und Probenhalter wurden so konstruiert, dass die zur Erstellung von Werkstoffmodellen benötigten physikalischen Größen wie z. B. axiale und tangentiale Dehnung, radiale Geschwindigkeit und Temperatur in Echtzeit gemessen werden konnten. Die Daten wurden mit sehr hohen Abtastraten erfasst, damit sie hinreichend genau an die Stoßwellenprofile angepasst werden konnten. Das Herausschleudern von Partikeln durch den Strahlaufprall wurde mit einer Hochgeschwindigkeitskamera gefilmt. Der Materialprobenhalter besteht aus einem Vakuumbehälter und einer Probeneinfassung, bei der 12 Werkstoffprobenebenen in zwei 6er-Reihen angeordnet sind. Die Probeneinfassung wurde mit einem Aktuatorsystem mit zwei Freiheitsgraden genau positioniert. Für jedes zu testende Material wurden zwei verschiedene Probenformen gewählt: Eine zylindrische Geometrie für Versuche mit mittlerer Intensität zur Messung von Druckwellen mit einfacher Form für einen Vergleich mit der numerischen Simulation, sowie Zylinder mit einem halbmondförmigen Querschnitt für Versuche mit hoher Intensität, die die Veranschaulichung und fotografische Aufzeichnung von extremen Oberflächenphänomenen (Schmelzen, Materialspritzer, Materialabplatzungen usw.) erlauben.



1
Probenhalter mit sechs unterschiedlichen Materialien



2
Blick auf die Proben über einen Spiegel und durch eine Glasscheibe

Geräteausstattung für die Messung

Die optischen Geräte (das Laser-Doppler-Vibrometer RSV-150 und eine Hochgeschwindigkeitskamera) wurden in einem strahlungsgeschützten Bunker platziert, 40 m vom Probenhalter entfernt. Mit dem RSV-150 wurde die Radialgeschwindigkeit der Außenfläche einer zylindrischen Probe für jede Ebene gemes sen. Über ein System aus Spiegeln (Bild **2**) wurde der Laserstrahl des Vibrometers aus dem geschützten Bunker auf die Probe fokussiert. Um die in der Simulation des Strahlaufpralls vorausberechnete Resonanz messen zu können, wurde das RSV-150 auf eine Messbandbreite von 2,5 MHz und einen Geschwindigkeitsmessbereich von 24 m/s erweitert. Die Durchlaufverzögerung der Signale im RSV-E-150-M-Controller war ebenfalls ein wichtiges Thema für diese Messung (die Geschwindigkeit der Teilchenstrahlen liegt nur knapp unterhalb der Lichtgeschwindigkeit).

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

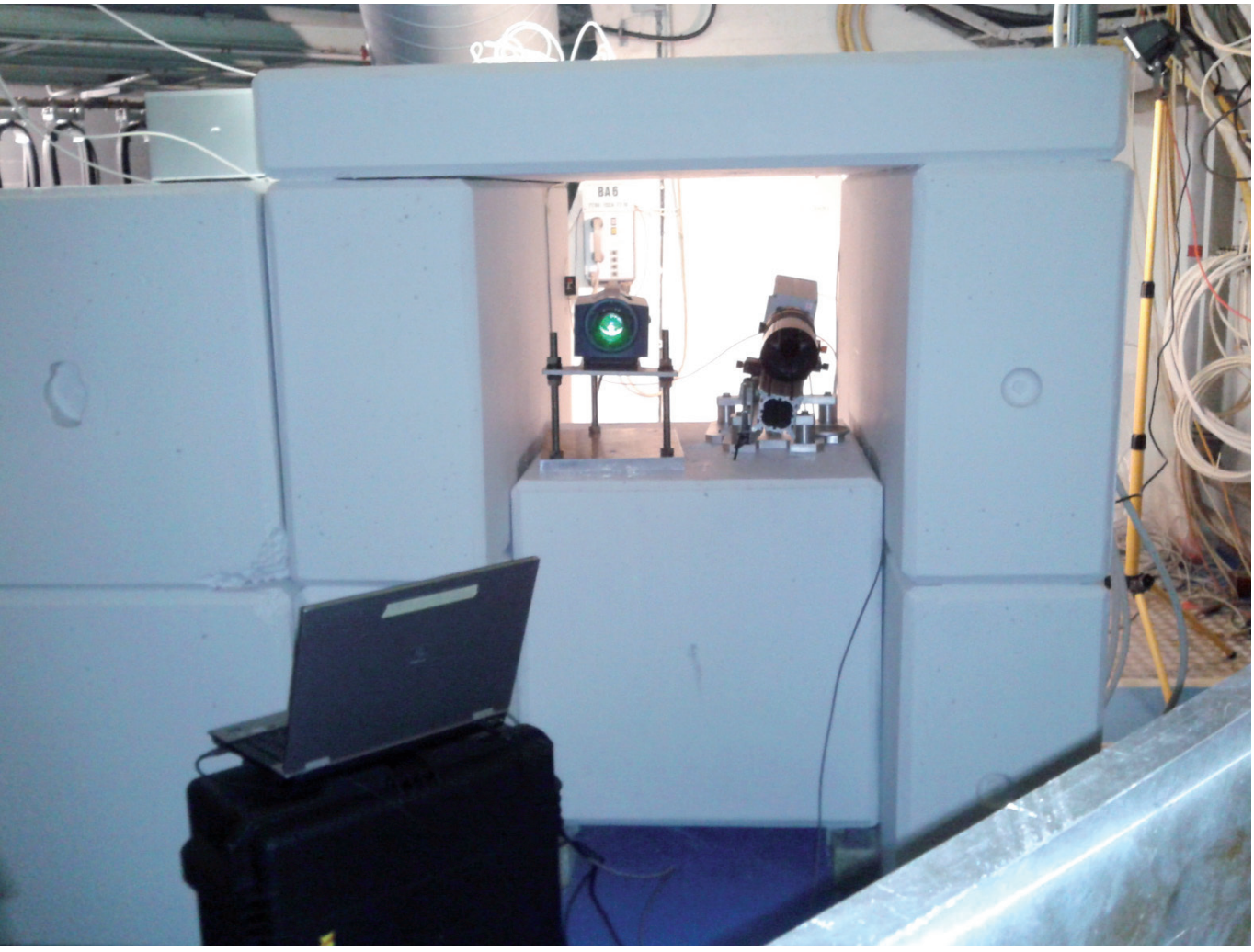
Zum Starten der RSV-150-Messungen wurde der ankommende Protonenpuls als Trigger verwendet. Die dann folgende Schwingungsmessung wurde für eine Dauer von 13 ms mit einer Abtastrate von 4 MHz aufgezeichnet. Typische Verläufe der Rohsignale von Dehnung und radialer Geschwindigkeit sind im nachfolgenden Bild **5** dargestellt. Dieses Ereignis entspricht dem Aufprall von 4,6 x 10^{12} Protonen auf den Glid cop®-Proben. Der Strahlaufprall auf die Probe ist hier bei 22 µs (t_0) erfolgt. Die große Frequenzbandbreite und der große Dynamikbereich des RSV-150 ermöglichen, die Druckwellengeschwindigkeit in der Probe (Zeit zwischen t_0 und der ersten Spitze bei 26 µs) zu messen. Die experimentell ermittelten Ergebnisse bestätigen die in der Simulation vorausberechnete Druckwellengeschwindigkeit von etwa 4.000 m/s in diesem Material. Diese Ergebnisse unterstreichen auch die Hauptvorteile des RSV-150 für diese schwierige Umgebung: Bei Dehnungsmessstreifen gehen die Signale während der ersten Mikrosekunden nach dem Aufprall verloren – möglicherweise aufgrund von kapazitiven Kopplungseffekten und elektromagnetischen Störungen. Die Daten aus dem RSV-150 zeigen dagegen nur eine kleine Störung vor dem Aufprall, die sich möglicherweise aus einer Interferenz zwischen dem RSV-Controller und dem vor dem strahlengeschützten Bunker verlaufenden Strahl oder einer möglichen Bewegung eines dicht an die Magnete installierten Spiegels erklärt.

Autor/Kontakt

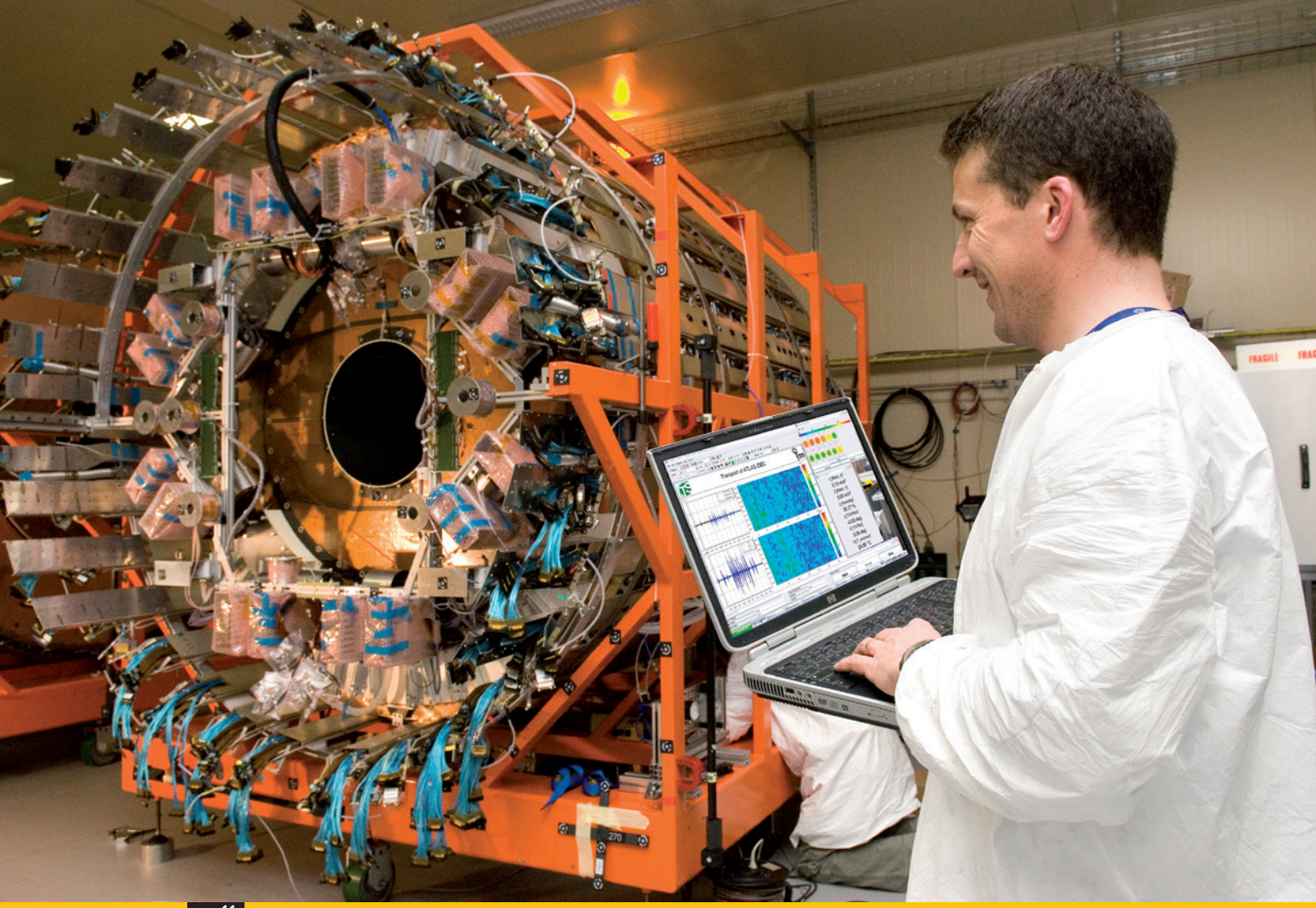
Michael Guinchard,
michael.guinchard@cern.ch,
Leiter Mechanical Measurement Lab
Konstruktionsabteilung, Gruppe für
Mechanik und Werkstoffkunde,
CERN – CH 1211 Genf 23

Dieser Artikel basiert auf der Publikation A. Bertarelli et al., "High Energy Tests of Advanced Materials for Beam Intercepting Devices at CERN HiRadMat Facility", 52nd ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on High-Intensity and High-Brightness Hadron Beams, 17. bis 21. September, 2012 – Beijing, China, http://cds.cern.ch/record/1552839/files/EuCARDCON-2012-031.pdf

3
RSV.150 Laser Doppler Vibrometer im Strahlungs-geschützten Bunker

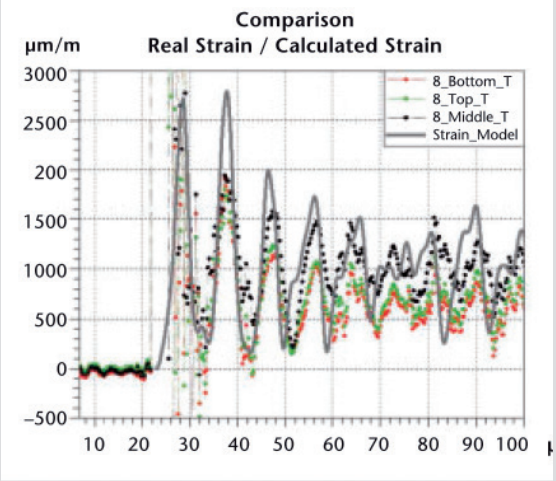


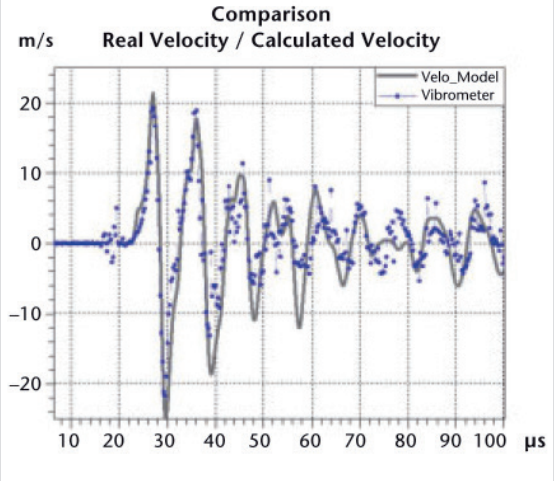
4
Blick in in die Richtung des Ver-suchsaufbaus aus einer Entfernung von 40 m



„ “

»Bedingungen, in denen keine Technologie außer der Laser-Doppler-Vibrometrie überlebt.«





5
Vergleich zwischen Messergebnis und Simulation: Dehnung (links) und Geschwindigkeit (rechts)

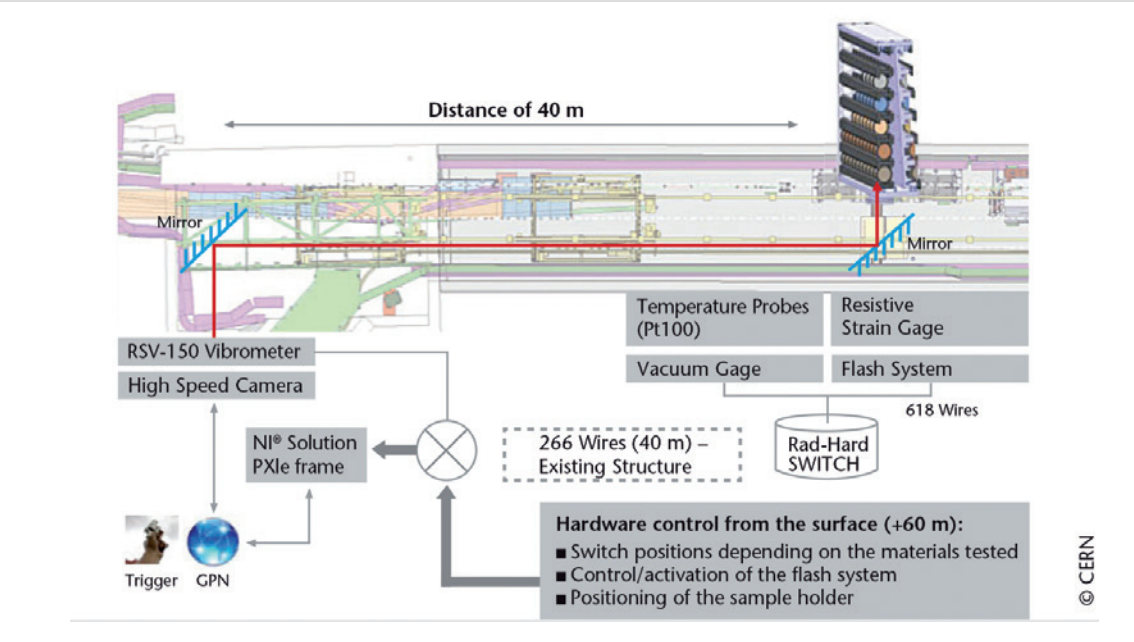
Interview mit Michael Guinchard, Verantwortlicher für das Mechanical Measurement Lab, Gruppe für Mechanik und Werkstoffkunde, CERN

Herr Guinchard, welchen Beitrag leistet das Laser-Vibrometer bei der Suche nach dem Higgs-Teilchen?
»Das RSV-150 hat nicht direkt zur Entdeckung neuer Elementarteilchen beigetragen. Jedoch werden die während dieses Experiments durchgeführten Messungen an Hochleistungswerkstoffen die Strahlungsdetektoren für den LHC-Beschleuniger verbessern. Sie werden für die Untersuchung höherer Teilchen-Energien und Leuchtkräfte verwendet.«

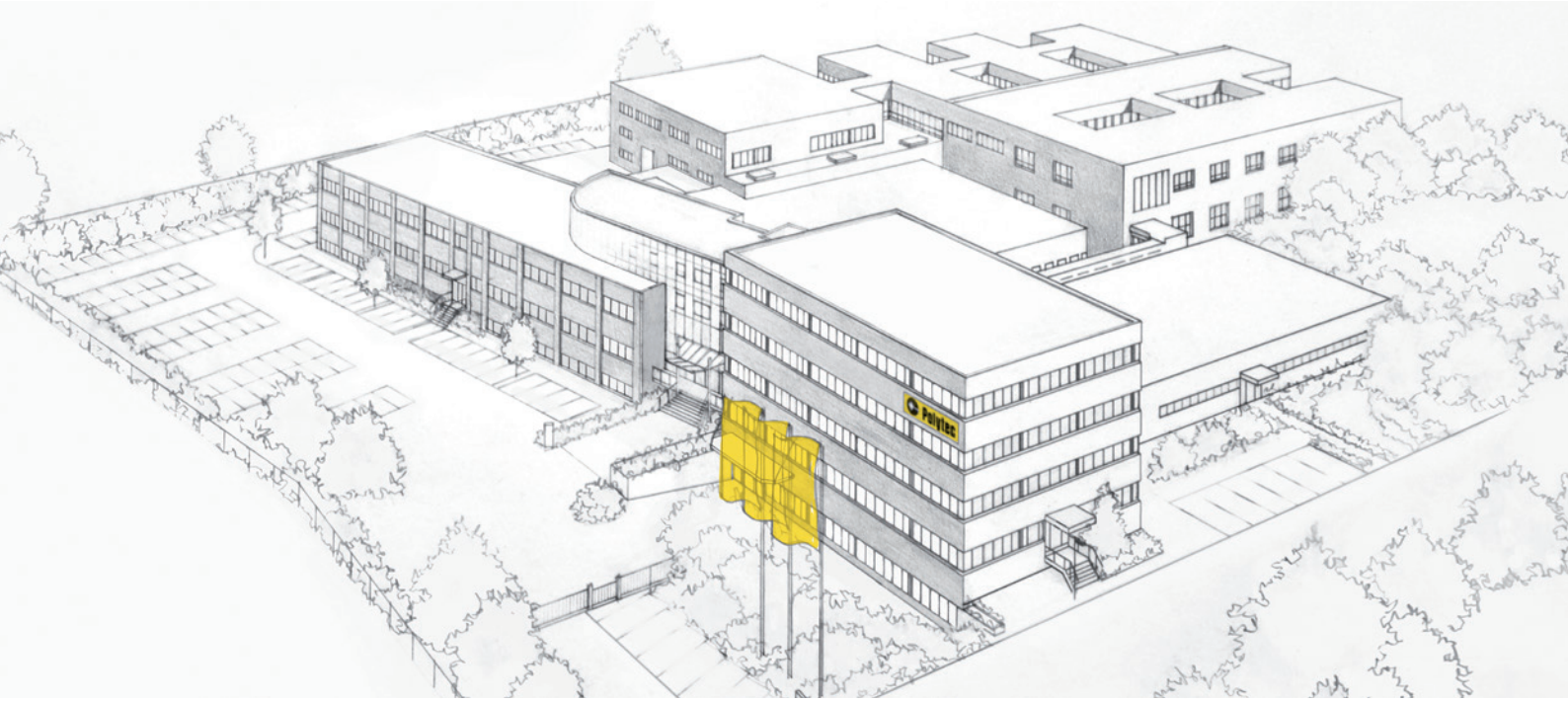
Wie hat das Vibrometer dabei geholfen, gegenwärtige Probleme zu lösen oder zu vermeiden?
»Wir haben am CERN zwar umfangreiche Erfahrung mit der Messung mechanischer Effekte unter sehr schwierigen Umgebungsbedingungen. Dieses Experiment jedoch hat viele kritische Bedingungen vereint: Vakuum, hohe Strahlungsleistung (Berechnungen zeigen eine integrierte Strahlungsdosis von 250 kGy), Protonenstrahl nur wenige Millimeter von den Sensoren entfernt, und sehr schnelle physikalische Effekte. Die Radialgeschwindigkeitsmessungen an den Proben wurden ebenfalls als sehr wichtige Informationen betrachtet, mit Redundanz bei den Spannungsmessungen an der Oberfläche der Proben. Moderne Kontaktsensoren überleben diese Umgebungsbedingungen nicht; eine optische Messung ohne Kontakt und mit abgesetzten Elektronikgeräten war der beste Ansatz: das RSV-150 hat diese Anforderungen erfüllt.«

Was wären die Alternativen zur Vibrometrie gewesen?
»Wie bereits erläutert, hätten Kontaktsensoren diesen schweren Bedingungen nicht widerstanden, und die Anforderungen waren sehr hoch. Wenn der Strahl auf die Probe trifft, breitet sich die Druckwelle mit einer Geschwindigkeit von etwa 4000 m/s in der Probe aus und erzeugt an der Oberfläche eine Radialgeschwindigkeit von etwa 24 m/s bei einer Resonanzfrequenz von ca. 120 kHz. Unter diesen Bedingungen kommt ausschließlich die Technologie der Laser-Doppler-Vibrometrie in Frage!«

Wie gestaltete sich die Zusammenarbeit mit und die Unterstützung durch Polytec?
»Das für diese Messungen verwendete RSV-150 wurde, ausgehend von einem bestehenden Gerät, für diese spezifische Anwendung angepasst, um die Bandbreite auf 2,5 MHz zu vergrößern. Polytec führte für uns Vorversuche zu den Rückstreueigenschaften der tatsächlichen Proben durch und unterstützte uns vor Ort am CERN bei der optimalen Ausrichtung der Umlenkspiegel.«



6
Übersicht Versuchsaufbau



Polytec GmbH (Germany)
Polytec-Platz 1-7
76337 Waldbronn
Tel. +49 7243 604-0
info@polytec.de

Polytec GmbH (Germany) Vertriebs- und Beratungsbüro
Schwarzschildstraße 1
12489 Berlin
Tel. +49 30 6392-5140

Polytec, Inc. (USA)
North American Headquarters
16400 Bake Parkway
Suites 150 & 200
Irvine, CA 92618
Tel. +1 949 943-3033
info@polytec.com

Central Office
1046 Baker Road
Dexter, MI 48130
Tel. +1 734 253-9428

East Coast Office
25 South Street, Suite A
Hopkinton, MA 01748
Tel. +1 508 417-1040

Polytec Ltd. (Great Britain)
Lambda House
Batford Mill
Harpenden, Herts AL5 5BZ
Tel. +44 1582 711670
info@polytec-ltd.co.uk

Polytec France S.A.S.
Bâtiment Orion – 1er étage
39, rue Louveau
92320 Châtillon
Tel. +33 1 496569-00
info@polytec.fr

Polytec Japan
Arena Tower, 13th floor
3-1-9, Shinyokohama
Kohoku-ku, Yokohama-shi
Kanagawa 222-0033
Tel. +81 45 478-6980
info@polytec.co.jp

Polytec South-East Asia Pte Ltd
Blk 4010 Ang Mo Kio Ave 10
#06-06 TechPlace 1
Singapore 569626
Tel. +65 64510886
info@polytec-sea.com

www.polytec.de

Änderungen der technischen Spezifikationen vorbehalten. OM_AN_VIB-G-24_2014_01_PDF_D