

# Hochenergie-CT erweitert zerstörungsfreie Prüfung

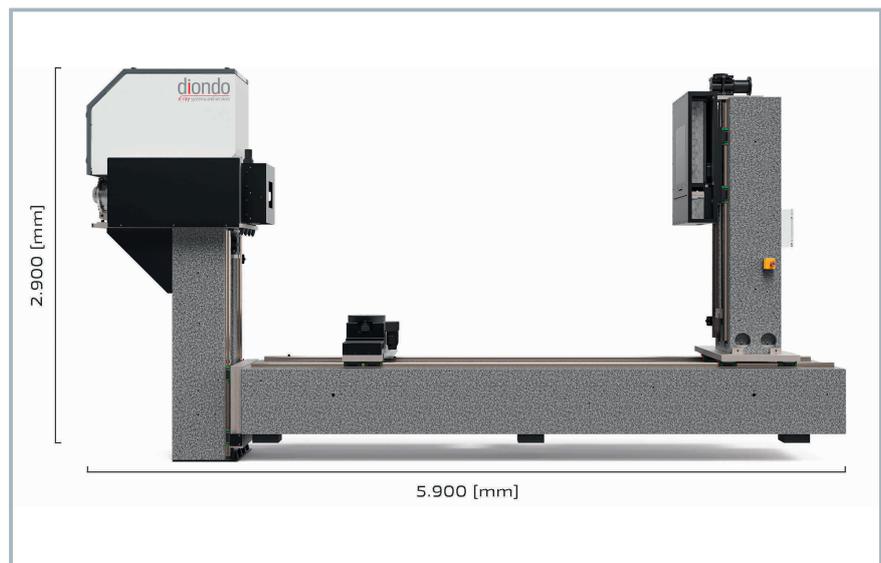
## Linearbeschleuniger durchdringen dichte Materialien und massive Objekte

Montierte Baugruppen mit einem gemischten Innenleben aus Kunststoffen, Leichtmetallen, Stahl, Kupfer u. a. gelten als schwierige Prüfobjekte für die industrielle Computertomografie. Alles eine Frage der Energie, sagen Experten. CT-Scansysteme mit Linearbeschleunigern, die im MeV-Bereich arbeiten, durchdringen so gut wie jedes in der Technik eingesetzte Material. Ein bunter Materialmix ist ebenfalls kein Problem.

Richard Läßle

**D**ie wohl am häufigsten eingesetzten CT-Systeme bei Produzenten und Dienstleistern verfügen über Röntgenröhren der Leistungsklassen 225 und 450 keV. Die niedrigen Leistungen sind ideal für viele Bauteile aus Kunststoffspritzguss sowie für kleinere oder dünnwandige Metallbauteile, insbesondere aus Aluminium. Höhere Leistungen eignen sich auch für mittelgroße Bauteile aus Leichtmetall. Ab 450 keV, vor allem ab 600 keV ist vielfach schon von „Hochenergie-CT“ die Rede. Jedoch scheint aus heutiger Sicht dieser Sprachgebrauch kaum noch passend zu sein, wächst doch das Ende der Fahnenstange fortwährend in die Höhe. Leistungen im MeV-Bereich sind inzwischen keine Seltenheit mehr. Die CT-Systeme in dieser Kategorie arbeiten nicht mehr mit Röntgenröhren, sondern mit Linearbeschleunigern.

Gängig sind die Leistungsklassen 3, 6 oder 9 MeV, vereinzelt kommen auch 12 MeV-Systeme vor. Während für die Computertomographen am unteren Leistungsende eine herkömmliche Blei-Stahl-Ummantelung als Strahlenschutz ausreicht, sind für Linearbeschleunigersysteme deutlich dickere Bleiumhausungen oder sogar Bunker mit teils meterdicken Betonwänden notwendig. Stehen voluminöse Untersuchungsobjekte auf der Agenda, sind entsprechende Krananlagen zu installieren. Die Investition rechnet sich für ein einzelnes Unternehmen nur bei sehr hohem Be-



Das Linearbeschleunigersystem diondo d7 hat eine Länge von knapp 6 m. Das maximale Prüfteilgewicht beträgt 200 kg. Die Strahlungsleistung beträgt 3, 6 oder 9 MeV. © Diondo

darf, folglich finden sich die meisten dieser Anlagen bei Dienstleistern oder in Forschungseinrichtungen.

### Sehr groß und sehr dicht

Die Anwendungen für die Hochenergie-CT sind äußerst vielfältig. Hohe Durchstrahlungsleistungen eignen sich beispielsweise für sehr große Objekte. Gleich vorweg: die richtig großen Fälle machen nur einen geringen Teil aller Anwendungen aus, teilweise handelt es sich um Einzelfälle, also Exoten. Museen lassen bisweilen technisches Gerät aus alter Zeit digitalisieren. Ein anderes Beispiel sind komplette PKW. Als beson-

dere Anwendung sind bewegte Objekte zu nennen, worunter auch Autos bei Crashtests fallen. Was passiert im Innern eines Fahrzeugs bei einem Aufprall oder in einem Motor während des Betriebs? Fragen wie diese lassen sich mit Linearbeschleunigern in Verbindung mit hohen Pulsraten beantworten. Der CT-Scanner erzeugt Hochgeschwindigkeitsaufnahmen und wird quasi zur Videokamera für das Innenleben.

Das Gros der Anwendungen ist mehrere Nummern kleiner und findet sich im industriellen Produktionsumfeld. Wichtige Industrien sind etwa der Fahrzeug- >>>

und Flugzeugbau, oder auch der Energiesektor. Laut diondo, Hersteller von CT-Anlagen und Dienstleister aus Hattingen, haben deutlich mehr als 90% der Scanobjekte ein kleineres Format als ein Motorblock. Gerade im Fahrzeugbau oder in der Luftfahrtindustrie besteht häufig der Wunsch, wichtige Baugruppen auf Montage- oder Passfehler zu überprüfen. Die Elektromobilität liefert hierfür ganz neue Prüfobjekte: komplette Rotoren, Statoren und Batteriepakete. Alles gespickt mit unterschiedlichen Materialien, dadurch schwer durchstrahlbar und anfällig für Störphänomene wie Artefakte. Haben diese Baugruppen die Produktion einmal verlassen, tauchen sie vielleicht eines Tages wieder im Service auf. Auch dann leistet die Hochenergie-CT gute Dienste. Sie liefert gegebenenfalls schnelle Informationen, wo es im Innern hakt und klemmt.

### Benchmark-Projekt Brennstoffzelle

Um zu demonstrieren, was mit der Hochenergie-CT heute möglich ist, legten die beiden CT-Spezialisten und Partner Volume Graphics, Heidelberg, und diondo, Hattingen, eine komplette Brennstoffzelle eines PKW auf den Linearbeschleuniger-Scanner. (Bild 1) Das Aggregat mit den Abmessungen 600 x 600 x 350 mm enthält einen Materialmix aus Kunststoffen, Leichtmetallen, Stahl, Kupfer u. a. m. Die Einzelteile liegen teils dicht an dicht. Folglich ein

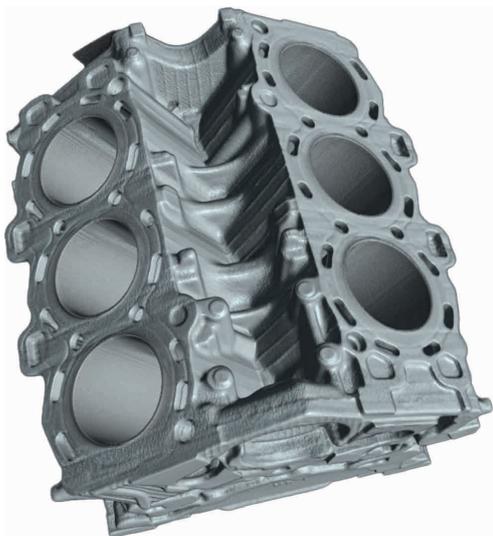
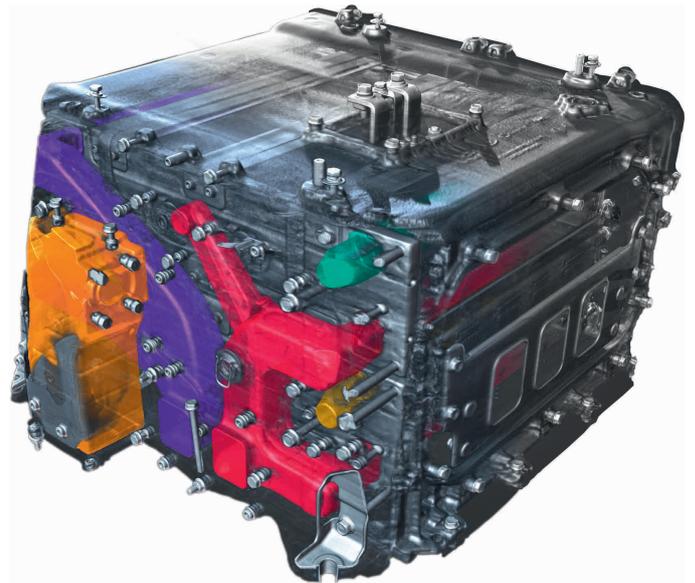


Bild2. Auch bei massiven Bauteilen aus Aluminiumguss, etwa bei einem V-Motorblock, spielt die Hochenergie-CT ihre Vorteile aus. . Quelle: diondo

©Hanser

Bild1. Brennstoffzelle für PKW gescannt mit 9 MeV. Die einzelnen Komponenten aus den unterschiedlichsten Werkstoffen werden sichtbar. .

Quelle: Volume Graphics / diondo © Hanser



ideales Benchmark-Projekt. Mit herkömmlichen Röntgenröhren ist bei einer so komplexen Baugruppe nicht mehr viel auszurichten. Laut der Experten sollten etwa 20% der Röntgenstrahlung am Detektor ankommen. Bei Werkstoffen wie Stahl ist dies mit Röntgenröhren kaum noch gewährleistet, u. U. wird die Strahlung komplett absorbiert. Die Brennstoffzelle wurde daher auf einem diondo d7-Linearbeschleunigersystem mit 9 MeV gescannt. Die Auswertung erfolgte mit der CT-Analysesoftware VGSTUDIO MAX von Volume Graphics.

Scanner und Analysesoftware machten sämtliche Einzelteile sichtbar: Die Elektrodenplatten, ihre Spannaufnahmen, sämtliche Schrauben, Leitungen, Strömungskanäle, Kabel, Elektronikbauteile usw. Für den Anwender der Software ändert sich im Vergleich zu leicht durchstrahlbaren Objekten zunächst einmal nichts. Allerdings liefert die Hochenergie-CT bei solchen Bauteilen ein deutlich besseres Kontrastverhältnis, wovon die Auswertung profitiert: je höher die Datenqualität resp. je deutlicher die Grauwertkontraste, desto exakter und schneller das Postprocessing. Der Bediener hat nicht mit Artefakten zu kämpfen wie bei geringen Durchstrahlungsleistungen. Die Software erkennt die Oberflächen zuverlässig, so dass sich Details ohne viel Zeitaufwand separieren lassen, gerade auch die unterschiedlichen Werkstoffe. Laut Volume Graphics sind gute Kontraste sogar in der Lage, einen Verlust an Auflösung in gewissem Umfang zu kompensieren.

Festzuhalten ist jedoch, dass es bei derartigen Anwendungen nicht darum geht, hochgenaue Messungen im Mikrometer- oder Hundertstelbereich durchzuführen. Dafür reicht die Auflösung nicht aus. Wie diondo mitteilt, liegen die typischen Auflösungen bei Anwendungen wie der Brennstoffzelle im Bereich mehrerer Zehntel Millimeter. Dafür liegt das komplette Innenleben vor Augen. Volume Graphics betont: diese Genauigkeit ist ausreichend, um ein Reverse Engineering durchzuführen. So konnten im vorliegenden Falle die Strömungskanäle in CAD-Daten zurückgeführt werden. Dies ist etwa erwünscht, wenn man mittels spezieller Software die Durchströmung simulieren möchte.

### Massive Einzelteile

Neben komplexen Baugruppen sind massive Einzelteile oder Einzelteile aus hochfesten Werkstoffen eine weitere Anwendung für die Hochenergie-CT. Beispiele sind Motorblöcke (Bild 2) oder Turbinenschaufeln. Auch wenn ein Motorblock aus leichtem Aluminiumguss gefertigt wird, kommt es im 450/600 keV-Bereich schnell zu Artefakten aufgrund mangelnder Durchdringung oder Streustrahlung, die auf dem Bildschirm u.a. als eine Art Nebel sichtbar werden. (Bild 3) Materialdefekte wie Poren gehen dann fast immer in den Störphänomenen unter und lassen sich nicht mehr ohne weiteres quantifizieren.

Der Zeitaufwand für den Qualitätstechniker, den Datensatz möglicherweise doch



Bild 3. Durchstrahlungsvergleich: Der Scan einer V-Motorblocks mit 6 MeV und Linearbeschleuniger zeigt deutlich weniger Streustrahlung und erlaubt dadurch schnellere Auswertungen und führt auf zuverlässigere Ergebnisse. Quelle: diondo

© Hnaser

noch brauchbar zu machen, kann beträchtlich sein. Die Entscheidung für einen Hochenergie-Scan beim Dienstleister steht und fällt dann mit der Frage, welcher Vorgang mehr Kosten verursacht: die vorbereitende Datenaufbereitung oder das Scannen auf einer Anlage mit hohem Stundensatz. Dass sich auf einem Hochenergie-System die Scanzeit extrem reduziert, ist bei dieser Rechnung unbedingt zu berücksichtigen. Vergleicht man die Zeit, die ein herkömmliches System mit Röntgenröhre benötigt, mit einem Linearbeschleunigersystem, so werden im Nu aus Stunden Minuten. Will heißen: die Scankosten reduzieren sich unter dem Strich auf einen Bruchteil.

Turbinenschaufeln sind laut des Hattinger CT-Dienstleisters so etwas wie ein Dauerläufer auf der MeV-Anlage. Viele der in Kraftwerken oder Flugzeugturbinen rotierenden Schaufeln werden aus hochtemperaturfesten und schwer zu durchstrahlenden Nickelbasislegierungen hergestellt. Ein wichtiges Qualitätsmerkmal ist die Porosität, vor allem am Übergang von Schaufelfuß zu Schaufelblatt. Wenn eine Schaufel einen Bruch erleidet, dann an dieser Stelle. Des Weiteren lassen sich mit der CT die Lage von Kühlbohrungen überprüfen, oder ob sich intern, bedingt durch Kerbwirkungen, Risse ausbilden, oder ob Fremdpartikel nach der Bearbeitung auf dem Bohrwerk zurückgeblieben sind. Da es bei Neuentwicklungen ein Ziel ist, das extrem teure Material so effizient wie möglich einzusetzen, ist die zuverlässigste und aussagekräftigste Technologie für die Qualitätssicherung extrem hilfreich – und das ist

inzwischen die CT. Ein weiteres wichtiges Qualitätsmerkmal ist die Außengeometrie der Schaufeln. Bei Revisionen kann mittels Soll-Ist-Vergleichen überprüft werden, ob Deformationen vorliegen und die Konturen den strömungstechnischen Vorgaben noch entsprechen. Auch hierbei liefert die Hochenergie-CT die besseren Ergebnisse, weil die Oberflächenfindung zuverlässiger gelingt.

**Fazit:** Die Hochenergie-CT erweitert die Bandbreite der CT-Anwendungen ganz erheblich. Der MeV-Leistungsbereich erlaubt es, auch schwer zu durchstrahlende Materialien zu untersuchen. Selbst bei schwierigen Materialkombinationen liefert die Hochenergie-CT Voxel-Modelle mit deutlichen Kontrasten, wie das Beispiel Brennstoffzelle belegt. Damit profitiert der Nutzer von einem doppelten Zeitvorteil: eine hohe Strahlungsenergie minimiert sowohl die Scanzeit als auch die Zeit für die spätere Analysen dank der höheren Datenqualität. ■

#### INFORMATION & SERVICE

##### KONTAKT

diondo GmbH  
Benjamin Zengerling  
sales@diondo.com

Volume Graphics GmbH  
Johannes Mann  
info@volumegraphics.com