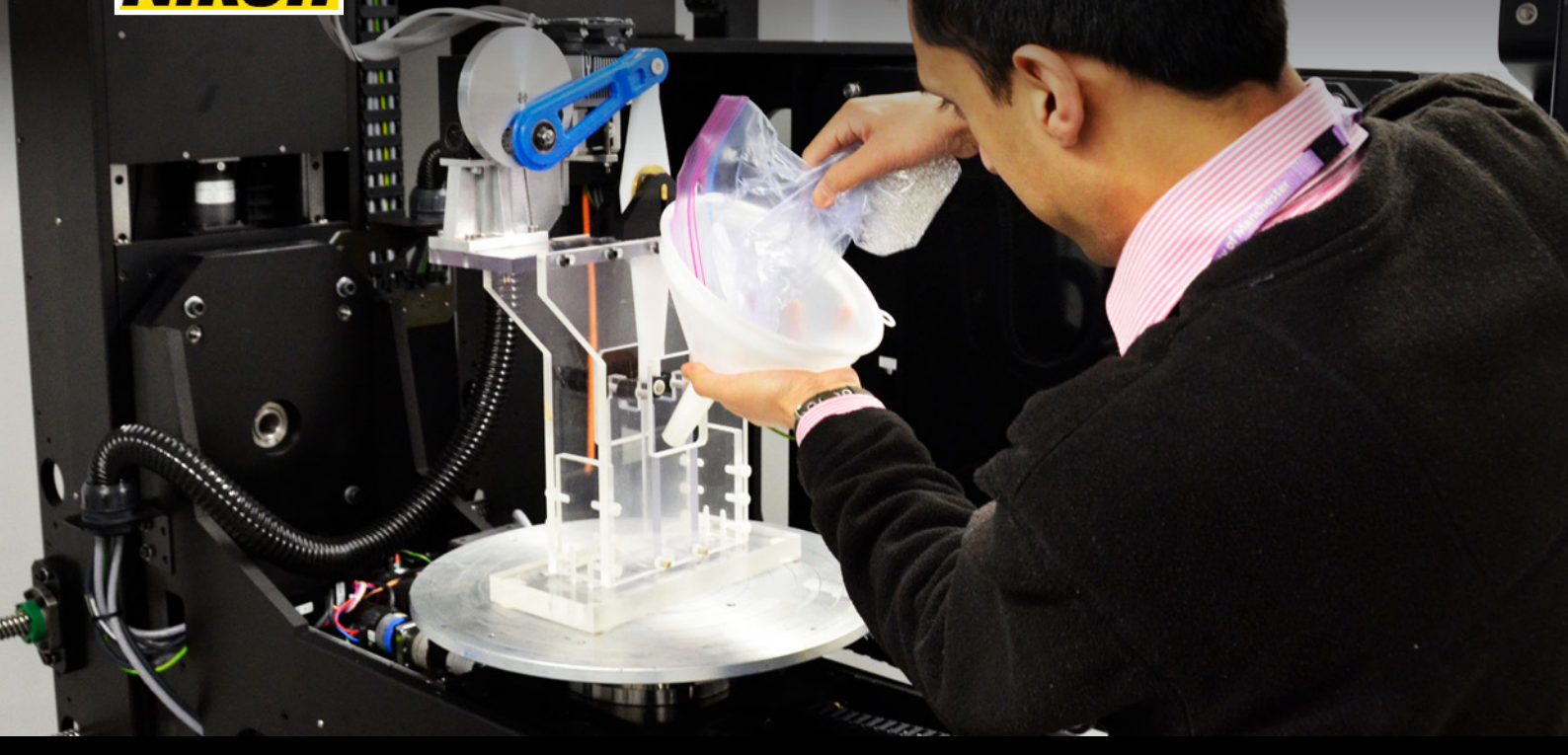




Nikons vielseitige Software macht 4D CT möglich



Die Inspect-X Software von Nikon Metrology ist insofern einzigartig, als dass sie neben der bedienerfreundlichen Oberfläche eine programmierbare Schnittstelle besitzt. Sie bietet die erforderliche Flexibilität für die Entwicklung maßgeschneiderter CT-Lösungen und die Integration von externer Analysesoftware und Hardware für Steuerungsfunktionen. Die Forscher des Henry Moseley Röntgeninstituts der University of Manchester haben die Möglichkeiten dieser Software genutzt, um die 4D CT für Laborexperimente zu implementieren. Könnten sich damit auch neue Möglichkeiten für industrielle Umgebungen eröffnen?

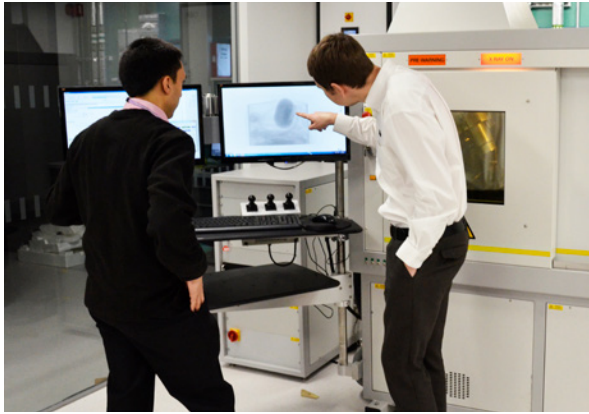
Parmesh Gajjar ist Forschungsassistent am Henry Moseley Röntgeninstitut. Er entdeckte, welche Möglichkeiten die IPC (Inter Process Communication) bietet und wie sie für zeitbasierte CT-Aufnahmen bei wissenschaftlichen Experimenten mit Proben genutzt werden kann, deren Struktur sich im Laufe der Zeit ändert. Andrew Ramsey ist CT Berater bei Nikon Metrology mit großer Erfahrung in der Entwicklung spezieller CT-Anwendungen für die Industrie. Vor kurzem haben Gajjar und er gemeinsam mit Kollegen den Fachbeitrag „New software protocols for enabling laboratory based temporal CT“ (Neue

Softwareprotokolle für die zeitbasierte CT in Laboranwendungen) veröffentlicht. In diesem Artikel erläutern Ramsey und Gajjar, wie die zeitbasierte CT auch sehr effektiv in der Industrieumgebung eingesetzt werden kann. Nikon Metrology beleuchtet, wie die zeitbasierte CT Hersteller, Fertigungsstandorte und die Qualitätssicherung darin unterstützen kann, die Ziele von Industrie 4.0 – eine digitale, automatisierte und vernetzte Fertigung – zu erreichen.

IPC macht die zeitbasierte CT einfacher

IPC ist die programmierbare Schnittstelle zur Röntgen-Steuerungssoftware von Nikon. Sie bietet dem Anwender die Möglichkeit, einzelne Inspect-X-Funktionen aufzurufen, von den einfachsten, wie dem Ein- und Ausschalten der Röntgenstrahlen bis hin zu erweiterten Funktionen, wie Starten eines CT-Scans mit zuvor gespeicherten Aufnahmeparametern, automatische Rekonstruktion eines CT-Volumens mithilfe gespeicherter Einstellungen und Ausführen einer automatischen Analyse mithilfe gespeicherter Makros. Gleichzeitig liefert sie Rückmeldungen über den gesamten Prozessverlauf. Das entsprechende IPC-Programm kann verwendet werden, um neue Aufnahmeverfahren zu implementieren, die Produktivität zu steigern oder stark vereinfachte Benutzeroberflächen für früher sehr aufwändige Aufgaben zu gestalten.

CT ist eine einzigartige Technik, da sie die zerstörungsfreie 3D Untersuchung von Werkstoffen ermöglicht. Es gibt jedoch viele Faktoren, die sich im Laufe der Zeit ändern können. Indem wir zu unterschiedlichen Zeitpunkten Messreihen am Prüfobjekt erfassen, können wir Veränderungen in der vierten Dimension, der Zeit, beobachten. Daraus ist ein leistungsfähiges Verfahren, die „zeitbasierte CT“ entstanden, das grundsätzlich vierdimensional ist (3D + Zeit) und deshalb als 4D CT bezeichnet wird.



■ Die Mungobohne im Nikon XT H 225 kann auf dem Bildschirm betrachtet werden.



■ Die Mungobohnen, die Gajjar für seine unterbrechungslose Zeitraffer-CT verwendet hat.

“Die programmierbaren CT-Systeme von Nikon Metrology ist eine „Goldmine“, da sie den Anwendern die Flexibilität bieten, Pläne gleich welcher Art zu verwirklichen.“

Parmesh Gajjar, Forschungsassistent - University of Manchester.
 pamesh.gajjar@alumni.manchester.ac.uk

Die IPC ermöglicht die automatische Erfassung von CT-Messungen über einen bestimmten Zeitraum. Die Rekonstruktion der Daten erfolgt ebenfalls vollautomatisch. Dadurch, dass die Ausführung von Scans in bestimmten Abständen oder zu festen Zeitpunkten geplant werden kann, können Wachstum oder Veränderungen einer Probe in 3D dokumentiert werden – ohne Bedieneingriff oder sonstige Maßnahmen.

Zeitbasierte CT in verschiedenen Varianten

Die zeitbasierte CT gibt es in verschiedenen Varianten, die grob in zwei Hauptkategorien gegliedert werden können: Zeitraffer-CT und Volumetrische (kontinuierlich scannende) CT. Die Zeitraffer-CT ist die 3D-Variante der Zeitraffer-Fotografie und bezeichnet herkömmliche CT-Scans, die in bestimmten Abständen aufgenommen werden. Bei der volumetrischen CT dagegen werden fortlaufend Bilder von einem Objekt aufgenommen, während es sich verändert. Anschließend wird es anhand ausgewählter Untergruppen dieser Aufnahmen rekonstruiert, um daraus mehrere volumetrische Zeitreihen zu bilden. Wie Gajjar und Ramsey in ihrem Artikel darlegten, hat die IPC den Vorteil der Flexibilität, sodass beide Varianten auf Standardmaschinen implementiert werden können. Wir möchten dies nun genauer beleuchten und darlegen, wie jede dieser Techniken neue Einblicke im Industriebereich geben kann.

Der von Parmesh Gajjar et al. verfasste Beitrag mit dem Titel „New software protocols for enabling laboratory based temporal CT“ wurde am 5. September 2018 veröffentlicht. Wenn Sie mehr erfahren möchten und genaueren Einblick in die Untersuchungen und Forschungsergebnisse wünschen, können Sie den Beitrag hier herunterladen: <https://doi.org/10.1063/1.5044393>.

A) Zeitraffer-CT

Wir können ein temporäres Bild eines sich ändernden Objekts aufnehmen, indem wir einfach in regelmäßigen Abständen – wie per Zeitraffer – CT-

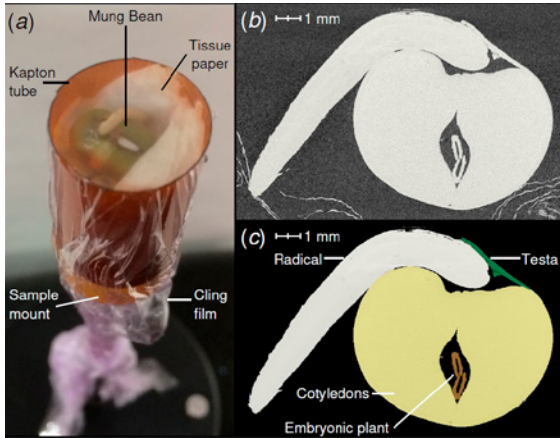
Scans aufnehmen. Wenn unser Prüfobjekt zwischen jedem Scan sich selbst überlassen wird und wir einfach abwarten, bis sich es sich auf natürliche Weise verändert, erhalten wir das, was als „unterbrechungslose Zeitrafferaufnahme“ bezeichnet wird. Wenn wir Änderungen in unserem Objekt zwischen jedem Scan dagegen erzwingen, erhalten wir eine „unterbrochene Zeitrafferaufnahme“. Wird der Vorgang manuell ausgeführt, wird alles, was über ein paar wenige Scans hinausgeht, zu einer enorm mühsamen Aufgabe. Die IPC ermöglicht jedoch eine vollautomatische Ausführung, sodass Bedieneingriffe drastisch reduziert werden.

Stellen Sie sich das Keimen einer Mungobohne in-vitro vor oder, besser gesagt, eine Mungobohne, die in einem CT-Gerät keimt. Gajjar verwendet ein Polymid-Röhrchen mit einem feuchten Gewebe, um einen In-vitro-Probenhalter mit feuchtem Mikroklima für den Bohnenkeimling herzustellen. Nachdem die Bohne in warmem Wasser eingeweicht wurde, um die Keimung anzuregen, wurde die Bohne in dem Probenhalter im CT-System platziert (siehe Abbildung 1). Da die Bohne auf natürlichem Weg keimt und wächst, wurden während des Keimvorgangs automatisch 54 CT-Scans fünf Tage lang in zweistündigen Abständen aufgenommen. Auf diese Weise konnten die Änderungen sichtbar gemacht werden. Mithilfe der unterbrechungslosen Zeitrafferaufnahmen wird ein 4D-Video der keimenden Bohne erstellt, das quantitative Analysen ermöglicht. Abbildung 2 zeigt verschiedene Momentaufnahmen dieses Prozesses.

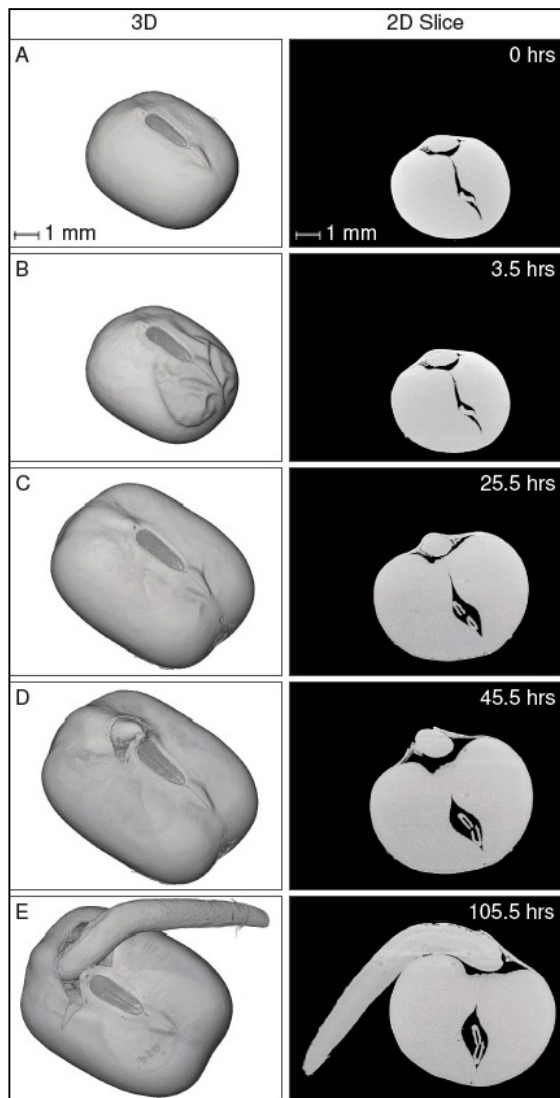
Gajjar nutzt die Zeitraffer-CT außerdem, um den Paranus-Effekt (BNP) sichtbar zu machen, der die Frage behandelt, warum große Objekte in einer Mixtur nach oben wandern, wenn diese geschüttelt wird. Gajjar entwickelte, passend für den Objektisch des CT-Systems, eine spezielle Scherzelle für Schüttgut, in diesem Fall eine Glasperlenmischung (die „Nüsse“). Die Zelle enthält Glasperlen zweier unterschiedlicher Größen. Die 6 mm Perlen liegen am Boden und die 3 mm Perlen obenauf. Der Mechanismus wendet in Intervallen eine Bewegungskraft auf ihren Inhalt an und nach jeder Unterbrechung werden automatisch Aufnahmen durch das CT-System erstellt. Die daraus entstandenen Scans können zu einem Film zusammengesetzt werden, der den natürlich stattfindenden Ordnungseffekt darstellt, wie in Abbildung 3 zu sehen ist.

B) Kontinuierliche Erfassung (Volumetrische CT)

Bei der anderen Variante der zeitbasierten CT werden fortlaufend Bilder von einem Objekt aufgenommen, während sich dieses verändert. Hier können die räumliche und die zeitliche Auflösung gleichzeitig optimiert werden. Für Aufnahmen in Winkelschritten wendet Gajjar die Methode des „goldenen Schnitts“ an. Sie bietet die Möglichkeit, die Anzahl von Projektionen in einer Rekonstruktion angepasst an die Entwicklung der Probe zu ändern.



■ Abb. 1 (a) In-vitro-Konfiguration für Mungbohnen-Keimling; (b) Ein Schnittbild des rekonstruierten Volumens, das Graustufen zeigt; (c) Das gleiche Schnittbild, das mithilfe einer manuellen Segmentierung von Einzelschnittbildern verschiedener Bohnenteile eingefärbt wurde. Abbildung mit freundlicher Genehmigung von AIP.



■ Abb. 2 Die virtuelle 3D-Darstellung und 2D-Schnittbilder zeigen die verschiedenen Stadien der Mungbohnen-Keimung zu verschiedenen Zeitpunkten. Abbildung mit freundlicher Genehmigung von AIP.

Goldener Schnitt bei Projektionen in Winkelschritten sichert Schichtaufnahmen mit optimaler Verteilung

Der goldene Schnitt ($\Phi / \Phi \approx 1,618$) ist eine irrationale Zahl, die häufig in der Natur vorkommt. Sie bezeichnet eine Form der optimalen Verteilung und kommt durch die Art und Weise zum Ausdruck, wie Blätter sich anordnen, um einander nicht zu verdecken, oder wie Sonnenblumensamen eine Spirale im Blütenkopf bilden. Aufgrund der ästhetischen Qualitäten dieses Schnitts kam er in der Architektur zur Anwendung und in zahlreichen Kunstwerken, insbesondere in vielen Arbeiten Leonardo da Vincis.

Die Bedeutung des goldenen Schnitts für das CT-Scannen besteht darin, dass er eine optimale Verteilung der Projektionswinkel ermöglicht. Im Vergleich zu Projektionen, die man durch in Standard-Winkelschritten (10, 20, 30...) organisierte Winkel erhält, sind die Projektionen, die orientiert am goldenen Schnitt erfasst werden, weitgehend unabhängig voneinander. Ein vollständiges Bild kann daher viel schneller aufgebaut werden und die Anzahl von Projektionen in einer Rekonstruktion kann der Entwicklung der Probe angepasst werden.

Dieser Ansatz des goldenen Schnitts wurde bereits früher erfolgreich implementiert, beispielsweise in der Kernspintomographie (MRT), mit der Neuronenbildung und Synchrotron-Röntgeneinrichtungen. Bei CT-Systemen, die im Labor eingesetzt werden, war dies (bisher) technisch jedoch nicht realisierbar. In Gajjars Experiment ermöglicht die IPC Schnittstelle erstmals die Implementierung des „Goldenen Schnitt“-Aufnahmeverfahrens in einem Labor.

Die Hürden laborbasierter Systeme meistern

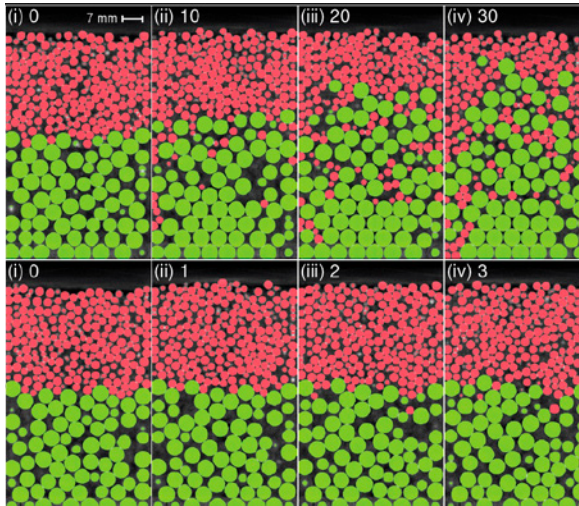
Gajjars Experimente beleuchten die große Flexibilität laborbasierter CT-Systeme und zeigen, wie diese eingesetzt werden können, um größere Ziele als die Standardverfahren zu erreichen. Gajjars beschreibt die programmierbaren CT-Systeme von Nikon Metrology als „Goldmine“ für Forscher und Hersteller gleichermaßen, da sie den Anwendern die Flexibilität bieten, Pläne gleich welcher Art zu verwirklichen.

Ein Bediener kann zwar manuell zeitbasierte CT-Aufnahmen mit dem System ausführen, die IPC erlaubt aber eine vollständige Automatisierung aller Prozesse und die Integration in umfassendere Konfigurationen für den industriellen Einsatz. Die vollständig programmierbare Schnittstelle von Nikon CT-Systemen ermöglicht es Anwendern, ihre eigene Software zu schreiben und ihr System individuell an die eigenen besonderen Herausforderungen und Projekte anzupassen.

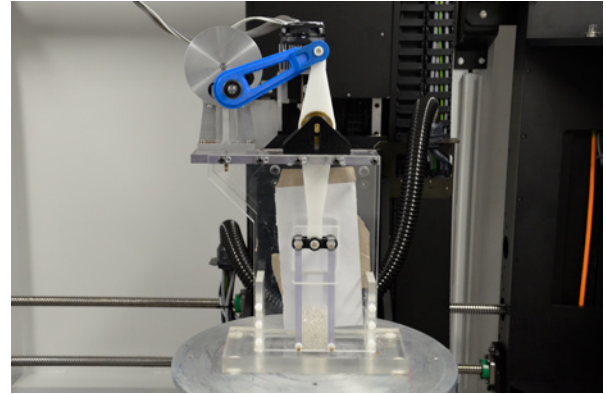
Wie könnte sich die 4D CT auf die Fertigungsumgebung auswirken?

Die Wirkung, die eine zeitbasierte CT auf die Fertigungsindustrie und Qualitätssicherungsabteilungen heute und zukünftig haben könnte, ist beachtlich. Die Grundsätze der zeitbasierten CT und die unterschiedlichen Verfahren zur Implementierung können im Industriebereich einen enormen Unterschied ausmachen. Die Funktion des synchronisierten in-situ CT-Scannens eröffnet Möglichkeiten für Prüfungen, die zuvor nicht denkbar waren.

Andrew Ramsey zufolge dürfte sich die Einführung der zeitbasierten CT als sehr nützlich für die Luft- und Raumfahrt und die Automobilindustrie erweisen. Für OEMs dieser Branchen sind Fehler keine Option. Aufgrund der Nachfrage nach stets gleichbleibender Qualität, werden Bauteile, Baugruppen und Mechanismen ausführlichen und strengen Umwelt- und Leistungstests direkt vor Ort unterzogen. Die Zeitraffer-CT in diese Tests zu integrieren, wäre von



■ Abb. 3 (a) besteht aus 4 Scans mit 10 Scherzyklen zwischen jedem Scan, während (b) Scans zeigt, die durch einen Scherzyklus pro Scan unterbrochen sind. Es zeigt sich, dass die kleinen Partikel nach unten tendieren, während die großen Partikel nach oben wandern. Abbildung mit freundlicher Genehmigung von AIP.



■ Eine Scherzelle, die speziell zur Untersuchung granularer Segregation mittels CT entwickelt wurde.

“Bei Komponenten der Luft- und Raumfahrt oder Automobilteilen mit beschleunigter Ermüdungsrisssbildung in Lüfterschaufeln kann die Zeitraffer-CT eingesetzt werden, um einen mehrjährigen Betrieb in einem Bruchteil der Zeit zu simulieren.“

Andrew Ramsey, CT Berater – Nikon Metrology
andrew.ramsey@nikon.com

großem Vorteil. Komponenten und Baugruppe dieser Branchen müssen so gut konstruiert sein, dass sie über längere Zeiträume erheblichen Dauerbelastungen standhalten. Durch die Integration der 4D CT in diese Tests erhalten Hersteller das ultimative Prüfmittel, um schnelle, präzise und aufschlussreiche Ergebnisse zu ihren Produkten zu erhalten. Vollständiges Vertrauen in die Produkte ist das, was Hersteller und Kunden fordern und genau das wird durch die 4D CT möglich.

In intelligenten Fabriken könnte diese Technik bald die zentrale Prüflösung für lebenswichtige Komponenten werden und damit die Anforderungen von Industrie 4.0 erfüllen. Qualitätssicherungsabteilungen nutzen die CT häufig, um Inneneinblick in Komponenten zu gewinnen, ohne diese zerschneiden oder in anderer Weise zerstören zu müssen. Sie unterziehen Werkstoffe, Komponenten, Bauteile und Baugruppen außerdem verschiedenen in-situ Simulationen und Tests. Durch die Einführung der zeitbasierten CT können diese beiden Verfahren jedoch miteinander verbunden werden. Damit lassen sich beispiellose Einblicke in die kleinsten Details der zu prüfenden kritischen Komponenten und Bauteile mit engsten Toleranzen gewinnen. Die 4D CT kann zeigen wo, warum, wann und wie eine Komponente fehlgeschlagen ist. Sie bietet daher umfassende Informationen –wichtig für die Produktentwicklung und für die Qualitätskontrolle unbezahlbar. Die 4D CT schafft Testergebnisse einer ganz neuen Dimension, die genaueste Untersuchungen zulassen und neue Maßstäbe in der Qualitätskontrolle schaffen.

Die Verbraucher erwarten allerhöchste Qualität, wenn sie in marktführende Marken und Waren investieren. Und diese Tests garantieren, dass nur die besten Produkte hergestellt werden. Die 4D CT setzt neue Maßstäbe, da sie Prüfverfahren unter einem ganz neuen Aspekt und in-situ Prüfungen in

besonderer Detailtreue, Genauigkeit und Geschwindigkeit ermöglicht. Hersteller gewinnen hervorragenden Einblick in die Konformität jedes Aspekts, jeder Baugruppe oder Komponente.

Die Einführung der zeitbasierten CT ist eine sehr wichtige Entdeckung und wird bald integrierter Bestandteil des Fertigungsprozesses sein. Mit der Entwicklung intelligenter Fabriken durch die Hersteller und der Konformität mit den Anforderungen von Industrie 4.0 wird sich die zeitbasierte CT bald als wertvolles Mittel zur Qualitätssicherung in Fertigungsstandorten weltweit bewähren.

Die Abbildungen 1, 2 und 3 sind mit freundlicher Genehmigung von Review of Scientific Instruments, AIP, dem Fachbeitrag „New software protocols for enabling laboratory based temporal CT“ entnommen. Den Beitrag finden Sie unter <https://doi.org/10.1063/1.5044393>

Nikon Metrology CT with Inspect-X software for software for 4D CT

Die röntgenbasierten CT-Systeme und die Software Inspect-X bieten Anwendern die Möglichkeit, individuelle Kundenanwendungen zu erstellen und die 4D CT in einer beliebigen Umgebung zu implementieren.

- Die vollständig programmierbare Softwareschnittstelle ermöglicht es Anwendern, ihren eigenen Code zu schreiben, um die gewünschten Anforderungen für besondere Anwendungen zu erfüllen
- Die Kombination aus Nikon-Systemen und flexibler Inspect-X Software macht automatisierte in-situ Untersuchungen möglich