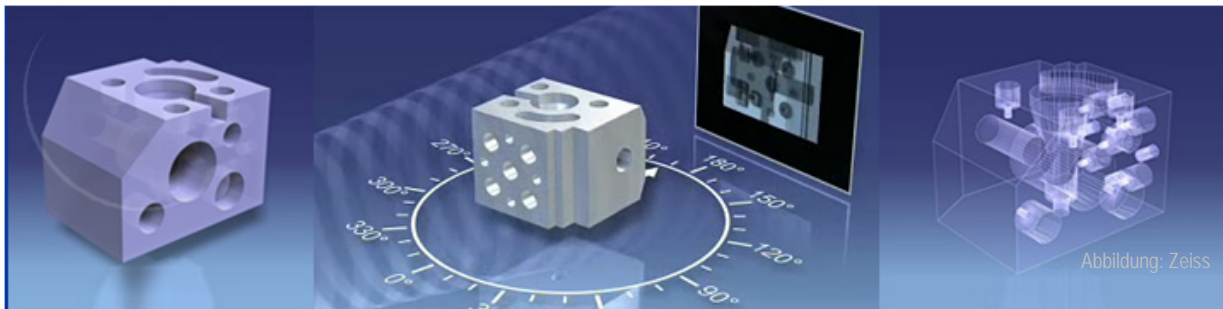


Mit Industrieller Computer-Tomografie neue Mess- und Optimierungsmöglichkeiten im Engineering-Prozess realisieren

Autor: Peter Ernst, geschäftsführender Gesellschafter von Quality Analysis GmbH



Abstract

ICT® Industrielle Computer-Tomografie ist eine neue Dienstleistung, deren Anwendernutzen weit über das bekannte Maß an zerstörungsfreier Mess- und Prüftechnik hinausreichen. Mit ICT® werden viele Elemente eines Bauteils „sichtbar und prüfbar“, die bisher nicht zu ermitteln waren, oder es musste das Bauteil zerstört werden, um aufwendig an Ergebnisse zu gelangen, die zudem in ihrer Aussagekraft nicht mehr ausreichen, um den an die Bauteile gestellten Anforderungen zu entsprechen. Neben Außen- und Innenkonturen, Defekt- und Porositätsanalysen sowie Wanddicken lassen sich auch Volumina von Bauteilen aus unterschiedlichen Materialien und Werkstücken bis zur Größe eines Motorblocks messen und mit modernster Software in 3D-Darstellungen abbilden. Der Anwender gewinnt damit zuverlässige Daten über die reale Geometrie seines Bauteils, erhält eindeutige, für das Engineering wichtige Informationen, wo Verbesserungen für die Bauteil-Produktion vorgenommen werden müssen, und reduziert den Zeitaufwand und die Kosten von der Erstbemusterung bis zur Serienproduktion in erheblichem Maße.

Das Whitepaper (Technologie / Methodik) gibt einen Überblick, wie ICT® funktioniert, und zeigt die Anwendervorteile auf, die sich bei der Erstbemusterung und im gesamten Engineering-Prozess ergeben.

Inhalt

Ist-Zustand: Schwachpunkte der taktilen Messtechnik	2
Technik und Funktionsweise der ICT®	3
Vorteile der ICT® gegenüber taktilen Messverfahren	4
Erweiterung des Mess-Horizonts um weiche Materialien oder Lufteinschlüsse	5
Einsatzmöglichkeiten der ICT®	5
Beispielhafter Ablauf einer Industriellen Computer-Tomografie	8
Leistungsspektrum	9
Das Unternehmen Quality Analysis GmbH	10
Anfahrtsplan	11

Ist-Zustand: Schwachpunkte bei der taktilen Messtechnik

Der Ablauf bei der Entwicklung neuer Produkte ist in allen Branchen ähnlich. Nach der Produktidee werden erste Bauteile seriennah hergestellt und in aufwendigen Verfahren geprüft. Die messtechnische Prüfung der Bauteile erfolgt in der Regel über taktile Messverfahren, wobei die Bauteile mit einem Messtaster angetastet und vermessen werden. **Bei komplexen Bauteilen ist die Vermessung der Innenkonturen mit herkömmlichen Methoden sehr schwierig**, da die Bauteile mit viel Aufwand in Segmente zerlegt werden müssen, um die Einzelteile vermessen zu können. Dies birgt eine **Reihe von Gefahren**:

1) Durch den Sägeschnitt gehen wertvolle Daten verloren, da sich z. B im Bereich des Sägeschnittes Lunker und Einschlüsse befinden können.

2) Durch die für die Prüfung erforderlichen mechanischen Einwirkungen, wie zum Beispiel Sägen, lösen sich die im Werkstückstück vorhandenen Eigenspannungen und der einzelne Sägeabschnitt verformt sich.

3) Bei komplexen Bauteilen werden die Messungen durch die hohe Anzahl von Störkonturen erschwert, was zu unterschiedlichen Messlagen führt. Ein weiterer Schwachpunkt ist der Einsatz von vielen unterschiedlichen Messtasterkonfigurationen und deren Kalibrierung zur Erfüllung der Messaufgabe.

4) Es müssen mehrere Bauteile zersägt werden, um alle gewünschten Informationen zu erhalten. Die **Messinformationen werden aus verschiedenen Bauteilen** zusammengestellt und spiegeln nur bedingt das reale Bauteil wieder.

5) **Wichtige Informationen für die Produktqualität können gar nicht erfasst** werden. Im Rahmen der Erstbemusterung von gießtechnisch hergestellten Produkten kommt es darauf an, Lunker (Lufteneinschlüsse) festzustellen, um sie im Re-Engineering zu beseitigen. Wird das Bauteil in Scheiben aufgeschnitten, kann sich an der Stelle des Sägeschnitts ein Lunker befinden, der nicht entdeckt wird.

6) Die Messung kann nur im Hinblick auf harte Materialien erfolgen, die bei der mechanischen Behandlung nicht kaputt gehen können. **Weiche Materialien** wie Elastomere oder Gummi werden überhaupt **nicht bzw. nur bedingt untersucht**.

7) Ein weiterer Nachteil der zerstörenden Bauteilprüfung ist der **hohe Zeitaufwand**. Für eine Prüfung eines 4 Zylinder-Motorblocks ist eine konventionelle Messzeit mit einzelnen Sägeschnitten von ca. 6 Wochen veranschlagt. In dieser Zeit steht die Bauteilentwicklung still.

8) Bei nicht eindeutigen Prüfergebnissen muss die konventionelle Messung mehrfach wiederholt werden. Sofern Modifikationen vorgenommen werden, müssen neue Teile gegossen und erneut vermessen werden, was **lange Entwicklungszeiten** des Bauteils bis zur Serienreife bedeutet.

9) Letztlich findet dieser umfangreiche Mess- und Prüfaufwand in **hohen Kosten** seinen Niederschlag, zumal wenn in mehreren Schleifen Bauteile erst gefertigt, dann wieder zerlegt werden müssen, um die Korrektheit Ihrer Geometrie und Einhaltung der Qualität zu ermitteln.

Fazit: Bei herkömmlichen taktilen Messverfahren ist die Erstbemusterung von komplexen Bauteilen und Werkstücken mit einem hohen Zeit- und Kostenaufwand verbunden. Außerdem bleibt die Qualität in einigen Punkten ungeklärt.

Technik und Funktionsweise der ICT®

Mit der ICT® Industriellen Computer-Tomografie werden, ähnlich der humanen Computertomografie, Bauteile mit einem Hochleistungs-Röntgenstrahl „durchleuchtet“. Dabei wird ohne mechanische Einwirkungen entsprechend der Messaufgabe eine hohe Anzahl von Schnittbildern des Prüflings erstellt, die zu 3D-Volumendaten umgewandelt werden können. Das Funktionsprinzip der Computer-Tomografie ist wie folgt:

- Das Objekt befindet sich in der Mitte der Maschine auf einem Drehtisch
- Die Strahlenquelle ist im seitlichen Bereich auf einem Turm aufgebaut
- Die Strahlenquelle sendet Röntgenstrahlen (Photonen) aus, die das Objekt durchdringen
- Gegenüber der Strahlenquelle ist der Detektor angebracht. Der Detektor ist der „Film“ der Maschine und nimmt die Röntgenstrahlen als Punktwolke auf
- Indem der Prüfling langsam mit dem Drehtisch rotiert, werden viele Röntgenbilder aus unterschiedlichen Richtungen erstellt
- Aus den vielen Abbildungen werden 3D-Volumeninformationen rekonstruiert (sog. Rekonstruktion oder Rückprojektion).
- In der Regel setzen sich diese 3D-Rekonstruktionen aus quer durch das Objekt verlaufenden Einzelschnitten zusammen. Auf diese Weise kann für jedes Volumenelement des Objekts eine Dichte ermittelt werden
- Die von Detektor aufgenommenen Punktwolken werden von leistungsstarken Rechnern und entsprechenden Softwareprogrammen in 3D-Volumendaten umgewandelt. Variierende Dichten im Werkstück, unterschiedliche Materialien oder Einschlüsse im Material werden in verschiedenen Grautönen abgebildet.
- Bei einem ICT® Bild werden ca. 65.000 Grauwerte erkannt und ausgewertet. Die Grautöne können den einzelnen Materialien zugeordnet werden.
- Es werden Darstellungen gewonnen, mit denen verschiedene Bereiche der Mess- und Prüftechnik durchgeführt werden können. Aus den 3D Volumendaten lassen sich verschiedene Auswertungen durchführen, ohne dass das Bauteil nochmals gescannt werden muss. Im Einzelnen wären dies:
 - Montagekontrolle
 - Defektkontrolle
 - Porositätsanalyse
 - Wandstärkenanalyse
 - komplette messtechnische Auswertung mit allen Innen- und Außenkonturen.

Eine weitere Anwendung, die sich aus den 3D Volumendaten ergibt, ist:

- Reverse-Engineering: vom Bauteil zu den CAD-Daten über eine Flächenrückführungssoftware

Vorteile der ICT® gegenüber taktilen Messverfahren

Die ICT® Industrielle Computer-Tomografie hat im Vergleich zur taktilen Messtechnik eine Reihe von Vorteilen.

Alle Messungen erfolgen am 100% intakten, unversehrten Original-Prüfling

Die Datenermittlung wird am realen, unversehrten Bauteil durchgeführt, so dass vor der Untersuchung des Prüflings keine wie auch immer geartete Bearbeitung, wie zum Beispiel Zersägen, notwendig ist. Dies erweist sich in mehrfacher Hinsicht als vorteilhaft:

- es wird das komplette „Bauteil im Echtheitszustand“ gemessen und nicht Einzelteile
- das Bauteil oder Werkstück erfährt keine mechanischen Einwirkungen von außen
- es müssen keine „Schnittlinien“ für das Zersägen vorab definiert werden
- es können keine Fehler bei der Vorbereitung des Prüflings gemacht werden

Vermessung von Innenkonturen

Es lassen sich zudem nicht nur die Außenkonturen eines Werkstücks prüfen, sondern auch die Innenkonturen vermessen. ICT® bietet einen Einblick in das Innenleben von Werkstücken und Bauteilen, das heißt es können zum Beispiel Lunker, Einschlüsse oder Bauteilfehler vermessen und grafisch dargestellt werden.

Computer gestützte Datenermittlung liefert eindeutige Ergebnisse

Der gesamte Mess- und Auswertungsvorgang mit ICT® erfolgt Computer gestützt. Es bleiben keine Interpretationsspielräume offen:

- mit ICT® wird ein „ganzheitliches Ergebnis“ mit einem einzigen Datensatz erzielt und „kein zusammengesetztes Ergebnis“, in dem viele einzeln ermittelte Daten miteinander verbunden werden müssen

Vermeidung von Umrechnungsfehlern bei Analyse

Da es sich um ein digitalisiertes Messverfahren handelt, liegen sämtliche Messdaten von Beginn an bereits in digitaler Form vor. Somit werden Fehler, die infolge einer falschen Eingabe beziehungsweise Umrechnung von zuvor manuell ermittelten Daten ausgeschlossen.

Messwerte-Aufbereitung analog CAD-Konstruktion

Durch die Kopplung der digitalen Vermessung mit CAD-kompatiblen Auswertungsprogrammen lassen sich die Messergebnisse 1:1 mit den Sollwerten des Entwicklungs-CAD-Programms vergleichen.

Nachträgliches Vermessen der Bauteile

Sollten weitere Messungen oder weitere Prüfpunkte notwendig werden, muss das Bauteil nicht nochmals vermessen werden, wie z. B. in der taktilen Messtechnik, wo das Bauteil erneut in die Messmaschine gelegt und vermessen werden muss, sondern es liegen die kompletten Werkstückdaten in Form von 3D Volumendaten vor. Aus diesen Daten lassen sich auch noch nachträglich ohne großen Aufwand Messungen durchführen.

Erweiterung des Mess-Horizonts um weiche Materialien oder Lufteinschlüsse

Vermessung von weichen Materialien

Da die Messung am Prüfling im Originalzustand erfolgt und die Messdaten als Volumengrößen vorliegen, wird es nun möglich, weiche Materialien wie Elastomere oder Gummiteile zu vermessen und deren Position in einem Bauteil abzubilden. Bei der taktilen Messung würden die mechanische Anlegekraft des Messtasters die Bauteile verdrücken

Messung von Lufteinschlüssen

Aufgrund der Erfassung und Vermessung des unzerstörten Prüflings werden mit der ICT® auch Volumen von Lufteinschlüssen oder Flüssigkeiten erfasst. Damit wird es erstmalig möglich, auch „Materialien“ in die Messung und Auswertung einzubeziehen, die nach dem Zersägen des Bauteils mit konventionellen Meßmethoden überhaupt nicht überprüft werden könnten.

Einsatzmöglichkeiten der Industriellen Computer-Tomografie

Die Einsatzmöglichkeiten der ICT® erstrecken sich von der zerstörungsfreien Prüftechnik über die zerstörungsfreie Messtechnik bis hin zur zerstörungsfreien Erstellung eines 3D-CAD-Modells mit folgendem Leistungsspektrum:

zerstörungsfreie Prüftechnik

- Defektanalyse
- Porositätsanalyse
- Defektkontrolle
- Montagekontrolle
- Materialprüfung
- Erstbemusterungen

zerstörungsfreie Messtechnik

- Messstrategie wie Koordinatenmesstechnik, jedoch zusätzlich alle Innenkonturen
- Zeiss Software Calypso in neuester Version
- Messprotokoll nach Ihren Wünschen
- Auswertung aller definierter Merkmale mit QS-STAT
- Erstbemusterungen

zerstörungsfreier Geometrievergleich

- Erzeugung von Punktwolken zur Rekonstruktion zu einem 3D-Modell
- Umwandlung eines 3D-Modells in ein 3D-CAD-Modell (reverse Engineering)
- Ausrichtungsvariante „Best Fit“, „3-2-1“ oder „RPS“ für Mess- und Geometrievergleich
- Ergebnisdarstellung als Farbdarstellung
- Erstbemusterungen

Beispiel: Defekt- und Montagekontrolle

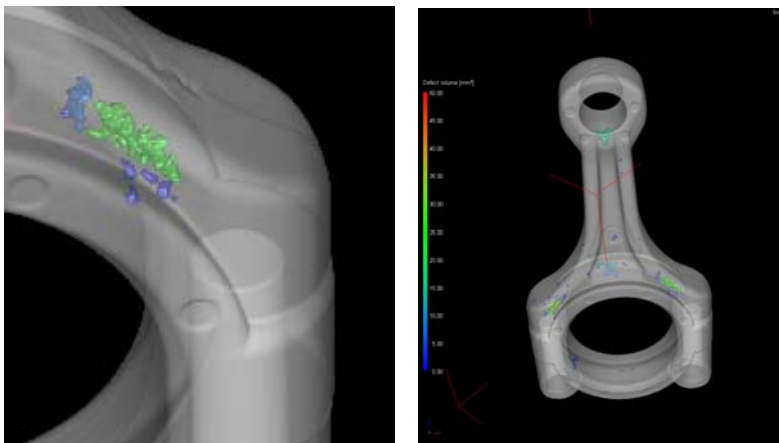
Mit der ICT[®] Technik können die Bauteile nicht nur vermessen werden, sondern bei zusammengebauten Baugruppen Montagefehler und Defekte analysiert werden. Dabei werden alle Bauteile und im Bauteil vorhandenen Elemente – unabhängig ob hart, weich, flüssig oder gasförmig – ermittelt werden.

Beispiel: Porositätsanalyse

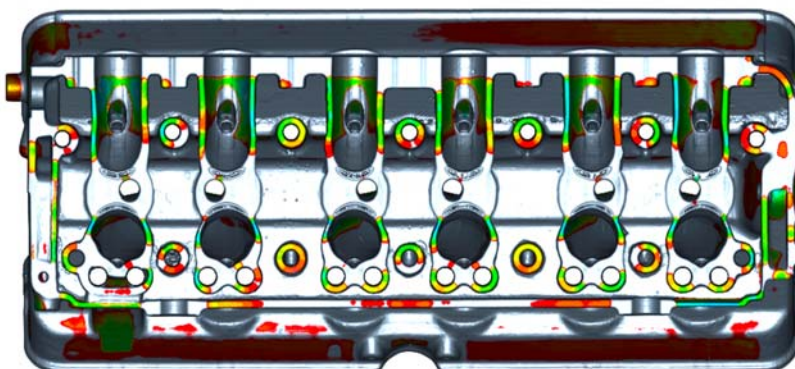
Ein weiterer Vorteil der ICT® ist, dass man in das Materialinnere des Bauteils schauen kann.

Bei einem ICT® Bild werden ca. 65.000 Grauwerte erkannt und ausgewertet. Diese Erkennung erfolgt auch bei Materialeinschlüssen und Fremdmaterialien, wie zum Beispiel Lunker im Guss oder Lufteinschlüsse in Spritzgussteilen aus Kunststoff. Die Einschlüsse lassen sich in einer Tabelle darstellen mit der exakten Angabe der Position und der Größe. Unterschiedliche Einschlussgrößen werden mit unterschiedlichen Farben dargestellt.

Durch die Porositätsdarstellung lässt sich auf einfache Weise die Form oder das Verfahren anpassen, um ein optimales Ergebnis zu erreichen. Bei einem Pleuel lassen sich auf einfache Weise die Lunker darstellen. Sind diese im Bereich des Gewindes, kann dies bei den hohen Beanspruchungen, denen das Pleuel ausgesetzt ist, zum Bruch führen, was einen Motorschaden zur Folge hat. Mit der Porositätsanalyse kann der Pleuelhersteller die Position der Lunker durch Veränderung der Formen beeinflussen und so einen Motorschaden verhindern.



Porositätsdarstellung eines Pleuels: Die farblich unterschiedlich dargestellten Einschlüsse zeigen Lunker in verschiedenen Größen. Im rechten Bild ist eine Farbskala dargestellt, die die Größenverhältnisse anzeigt.



Wandstärkeanalyse eines Motorblocks aus dem SOLL/IST-Vergleich zwischen CAD-Modell und 3D-Modell der rekonstruierten CT-Daten. Die unterschiedlichen Farben zeigen die Maß-Abweichung von den SOLL-Daten in blau für geringe Abweichung bis rot für größere Abweichungen.

(Bild: VARIAN/Quality Analysis GmbH)

Beispielhafter Ablauf einer Erstmuster-Prüfung

1. Einrichtung des ICT®-Prüfplans

Bei Einsatz der Industriellen Computer-Tomografie kann schon vor der Herstellung der Bauteile mit der Vorbereitung der messtechnischen Auswertung und Vermessung der Prüflinge begonnen werden. Dabei werden die von der Entwicklungsabteilung zur Auslegung des Bauteils verwendeten CAD-Daten für die Erstellung des ICT®-Prüfplanes genutzt, indem die Bezugs- und Ausrichtpunkte des Bauteils bestimmt und die einzelnen Messpunkte festgelegt werden. Bei den Messpunkten werden digital die zu messenden Stellen angetastet und in einem Prüfplan aufgenommen.

2. Scannen des Prüflings

Sobald das erste seriennah gefertigte Bauteil fertig gestellt ist, wird es in der CT-Anlage gescannt. Die entstandene Punktwolke wird über das Programm VG StudioMAX in ein 3D-Volumendaten umgewandelt und in Calypso eingelesen.

3. Prüfling-CAD-Abgleich

Anschließend wird das 3D-Modell des gescannten Bauteiles mit den CAD-Konstruktions-Daten ausgerichtet und die Messung anhand des bereits erstellten Prüfplanes durchgeführt.

4. Feststellung der Maßabweichungen

Die 3D Volumendaten werden ausgerichtet und über das CAD Modell gelegt. Mit dem unter 1. beschriebenen Prüfplan wird ein SOLL/IST-Vergleich durchgeführt und die Messergebnisse bzw. die Messabweichungen in einem Protokoll dargestellt und nach Wunsch auch statistisch ausgewertet werden. Eine weitere Möglichkeit der ICT® bietet der SOLL/IST-Vergleich von Bauteilen. Dies wird zum Beispiel in der Kunststoffindustrie verwendet, dabei wird ein Bauteil als Master definiert und die anderen Bauteile über diesen Master gelegt. Die festgestellten Maßabweichungen der Bauteile untereinander können farblich dargestellt werden. Dabei können nicht nur die Außenkonturen des Werkstückes betrachtet, sondern auch die gesamte Innenkontur vermessen, dargestellt und verglichen werden. Auch Bohrungen und Hohlräume lassen sich vermessen und auswerten.

5. Daten gehen an den Kunden zur Eigen-Analyse

Nach dem Scannen und der ersten Auswertung durch Quality Analysis werden die ermittelten Daten an den Kunden gesendet, der die Daten seines Prüflings mittels einer Viewer-Software begutachten kann. Auf dieser Grundlage können in Abstimmung zwischen Quality Analysis und den Fachbereichen des Kunden weitere spezifizierte Messungen oder Analysen durchgeführt werden und als Resultate kann der Kunde bauteil- oder prozessspezifische Modifikationen durchführen.

6. Wandstärken-Analyse

Die Wandstärken-Analyse ist ein weiterer Vorteil der ICT®. Industriellen Computer-Tomografie Mit den Volumendaten lassen sich die Wandstärken der Bauteile vermessen und zwar in jeder Lage und Position im Bauteil, da die Messung digital erfolgt. Somit kann die ICT® wertvolle Dienste für die Gießindustrie und im Fahrzeug- oder Flugzeugbau leisten, wo trotz immer leichteren, filigraneren Materialien extrem hohe Leistungsanforderungen an die Bauteile bestehen.

7. z. B. Finite Elemente Berechnung über Re-Engineering

Die tomografische Vermessung des Bauteils bietet zudem einen weiteren Vorteil. Mit den entstanden Daten kann über das Reverse Engineering eine Finite Elemente Berechnung erstmalig am „realen“ Bauteil durchgeführt werden. Das heißt die entstandenen ICT® Daten des realen Bauteiles werden in CAD-Daten umgewandelt und über die FEM werden die Schwachstellen ermittelt. Dies war bis jetzt nur an den konstruktiven und frei von prozessbedingten Fehlern erstellten CAD-Daten möglich.

Leistungsspektrum

Quality Analysis setzt für die ICT® Industrielle Computer-Tomografie-Messungen unterschiedliche Maschinen der Leistungsklasse bis 225 kV und bis 450 kV ein.

Technische Daten		225 kV	450 kV	450 kV
			Detektor 250 D	Detektor 100 RLS
Werkstückbreite	mm	ca. Ø 300-350	550	170
Werkstückhöhe	mm	ca. h 300-350	1200	1200
Werkstückgewicht	Kg	70	100	100
Durchdringungstiefe in Stahl / Kupfer				
	Gut-Schlecht-Prüfung	mm	< 40	< 70
	Messen	mm	< 15	< 60
Durchdringungstiefe in Guss				
	Gut-Schlecht-Prüfung	mm	< 40	< 70
	Messen	mm	< 15	< 60
Durchdringungstiefe in Alu / NE-Leichtmetalllegierung				
	Gut-Schlecht-Prüfung	mm	< 150	< 250
	Messen	mm	< 100	< 200
Durchdringungstiefe in Kunststoff				
	Gut-Schlecht-Prüfung	mm	< 250	< 450
	Messen	mm	< 150	< 400
maximale Auflösung		kleinster scanbarer Bereich		

eingesetzte Software

Zusätzlich zu der Bediensoftware der CT-Maschinen werden folgende Softwarepakete eingesetzt:

- VG StudioMax
- Calypso / PolyWorks
- Flächenrückführung

Für die die Einrichtung der Prüfung, tomografische Analyse und messtechnische Auswertung werden CAD-Daten im Datenformat SAT oder STEP bevorzugt.

Das Unternehmen Quality Analysis GmbH

Quality Analysis GmbH wurde im August 2007 gegründet und wird von den beiden geschäftsführenden Gesellschaftern Josef Faigle und Peter Ernst geleitet.

Ziel ist es, umfassende Dienstleistungen in allen Bereichen der Industriellen Computer-Tomografie unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten dem Markt zugänglich zu machen und anzubieten.

Wir verstehen unseren Auftrag nicht nur im Angebot der reinen CT-Messung, sondern vielmehr in der professionellen Auswertung, Darstellung und Analyse von Bauteilen. Damit geben wir unseren Kunden die Möglichkeit, ihre Produkte in kürzester Zeit zu verbessern und ihren Wettbewerbsvorteil zu erhalten und sichern.

Anfahrtsbeschreibung

