



Project Engineering
Partner- & Kundentag



Zerstörungsfreie Prüfung mit industrieller Computertomographie (iCT) in Leichtmetall-Gießereien

**Von der typischen Porositätsanalyse bis
hin zur Festigkeitsberechnung direkt auf
CT-Datenbasis**

Andreas Harborth
Product Manager Casting

Industrielle CT

Zerstörungsfreie Prüfung mit iCT in Leichtmetall-Gießereien



part of Hexagon

- 1 Einführung**
Ungängen? Oder Defekte? Die korrekte Definition macht den Unterschied!
- 2 Porositäts- / Einschlussanalyse**
Indikation und Analyse von Ungängen in Gussstücken
- 3 Dimensionale Messtechnik**
Sekundenschnelle Überprüfung vieler geometrischer Maße
- 4 Automatisierte industrielle CT-Inspektion**
Qualitätssicherung mit 100% Inline-CT Inspektionen
- 5 Wandstärkenanalyse**
Überprüfung von Wandstärkenabweichungen direkt auf CT-Scans

- 6 Soll-Ist-Vergleich**
Konturabweichungen prüfen, messen und vergleichen
- 7 Fertigungsgeometriekorrektur**
Korrektur von Konturabweichungen, die z. B. durch Schwindung entstehen
- 8 Strukturmechanik-Simulation**
Überprüfung des Einflusses von Ungängen auf die Festigkeitseigenschaften
- 9 Reverse Engineering**
Erstellung von CAD-Datenmodellen auf Basis von 3D-CT-Daten
- 10 Kostensenkungspotenzial durch Atline-CT**
Beispiel: Federbeinstütze LH & RH Version
- 11 Zusammenfassung**

Industrielle CT

Zerstörungsfreie Prüfung mit iCT in Leichtmetall-Gießereien



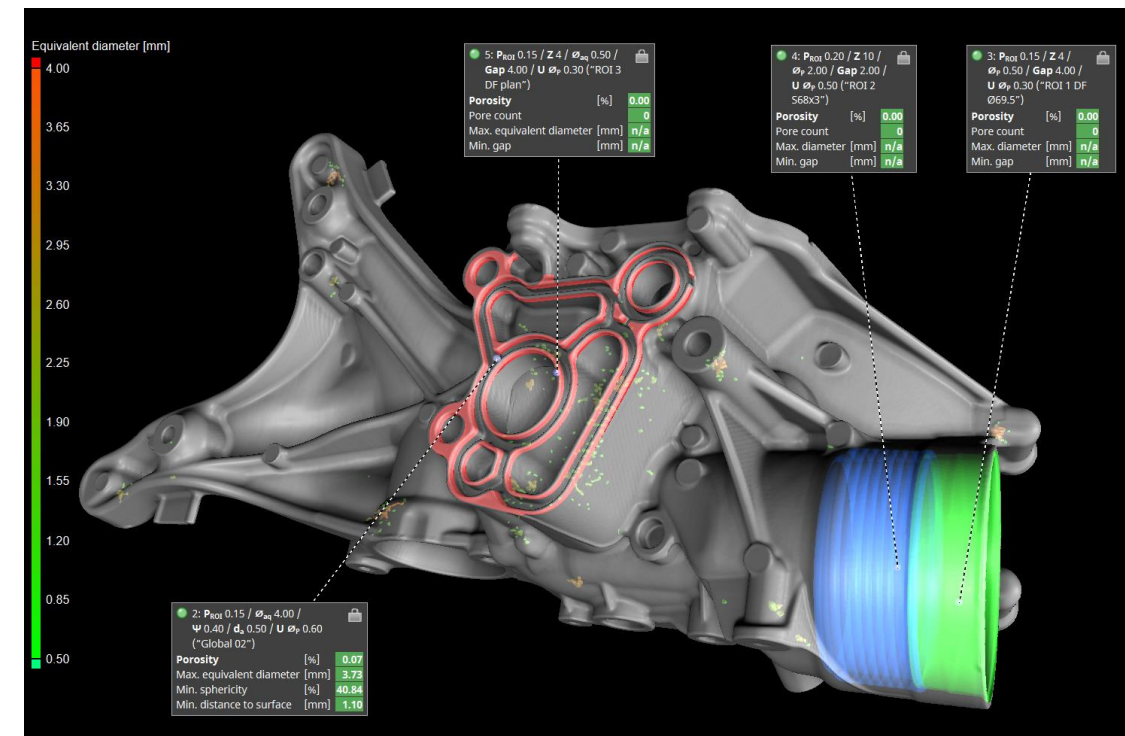
part of Hexagon

1

Einführung

Ungängen in Gussstücken sind solche **Indikationen** (hier: Ergebnisse einer CT-Grauwertanalyse), die vom geometrischen und metallurgischen Idealzustand abweichen

- Gussstücke mit Ungängen (Fehlstellen) sind prozessbedingt und **lassen sich nicht vollständig vermeiden**
- Eine Ungänge im Gussstück wird grundsätzlich nicht vor einer abschließenden Analyse und Bewertung als „Defekt“ bezeichnet, d.h. ein Gussstück darf nicht pauschal als Ausschuss deklariert werden
- Lediglich die Produktspezifikationen des Gusskunden lassen eine Einstufung als „IO“ (mit Ungängen, aber innerhalb der Toleranz) oder „NIO“ (mit einer oder mehreren Ungängen außerhalb der Toleranz = Gussstück enthält „Defekte“ => Ausschuss) zu



Industrielle CT

Zerstörungsfreie Prüfung mit iCT in Leichtmetall-Gießereien



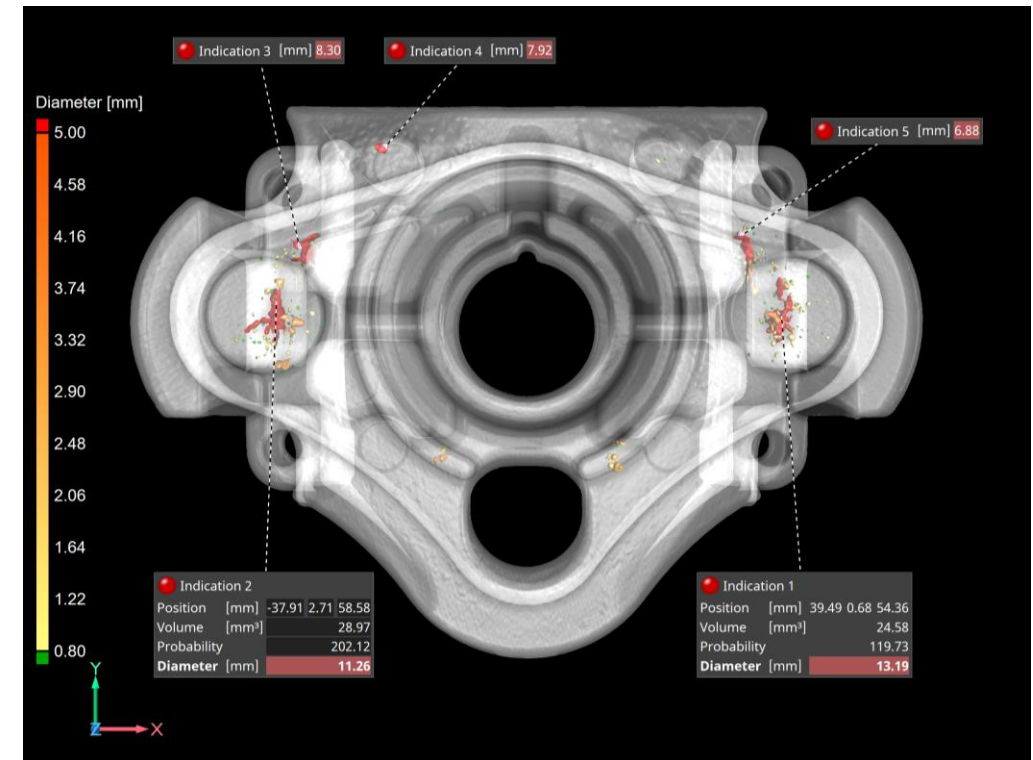
part of Hexagon

2

Porositäts- / Einschlusanalyse (1)

Erkennen und analysieren Sie typische Ungängen in Gussstücken in 3D mit Hilfe der industriellen CT

- Erhalten Sie detaillierte Informationen zu den indizierten Ungängen
- Unterscheiden Sie zwischen Gasporen, Lufteinschlüsse, Lunker, Risse und Fremdmaterialeinschlüsse
- Bestimmen Sie die Porositätskennwerte global für das gesamte Gussstück
- oder für lokal auftretende Porositäten (lokale Porositätskonzentrationen)
- oder für einzelne Poren (z. B. die größten fünf Poren = „Big 5“)
- Verwenden Sie Filter für kleine, nicht relevante Porositäten
- Verwenden Sie Toleranzeinstellungen, um in „IO“ (grün) oder „NIO“ (rot) zu klassifizieren



Industrielle CT

Zerstörungsfreie Prüfung mit iCT in Leichtmetall-Gießereien



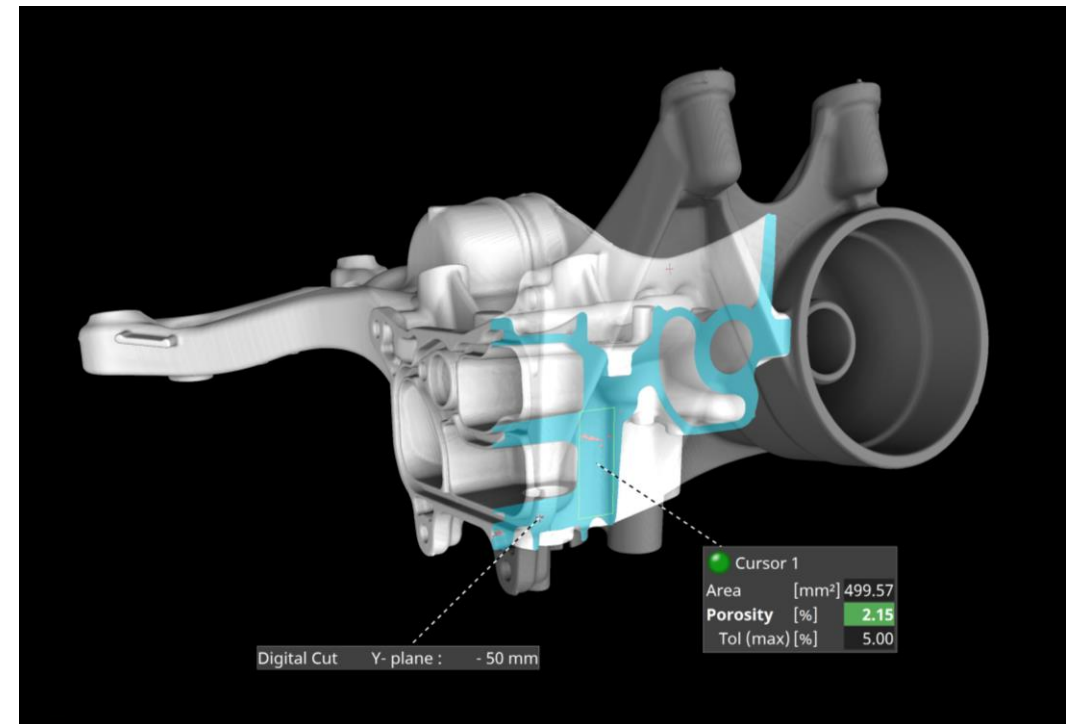
part of Hexagon

2

Porositäts- / Einschlusssanalyse (2)

Erkennen und analysieren Sie Ungängen in Gussstücken in Anlehnung an BDG-Richtlinie P 202

- **„Digital Cut“:** Praxisorientierte kombinierte 2D/3D-Porositätsanalyse für Leichtmetallgießereien
- **Prüfung auf Porosität in den Gussstückquerschnitten**, die von der Gießerei selbst gewählt oder in Kundenzeichnungen angegeben werden
- **Schneller, digitaler und zerstörungsfreier Ersatz** für die klassische, aber zeitaufwändige metallografische Auswertung von Mikroschliffen
- **Nutzen Sie „Digital Cut“-Prüfroutinen („Jobs“)** für wiederholte zerstörungsfreie Porositätsprüfungen bei Erstbemusterungen, für Requalifizierungsprüfungen oder serienbegleitende Stichprobenprüfungen



Industrielle CT

Zerstörungsfreie Prüfung mit iCT in Leichtmetall-Gießereien



part of Hexagon

2

Porositäts- / Einschlusanalyse (3)

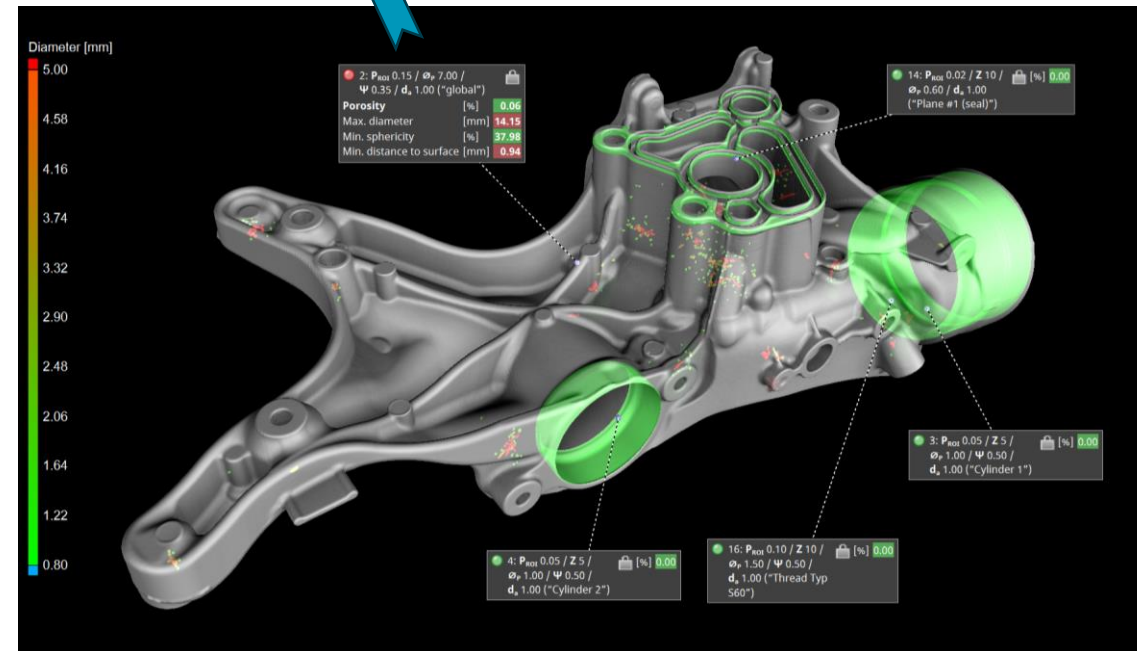
Die praxisorientierte 3D-Porositätsanalyse für Leichtmetallgießereien in Anlehnung an BDG-Richtlinie P 203

Analysieren Sie Porositäten in unterschiedlichen Bereichen mit P 203-Porositätsschlüsseln, die von der Gießerei angelegt oder vom Gussstückabnehmer in 2D/3D-CAD vorgegeben werden

- Vollständig digitaler, zerstörungsfreier Ersatz für die klassische, aber zeitaufwändige metallografische Auswertung von Mikroschliffen
- Nutzen Sie Prüfroutinen („Jobs“) für wiederholte Porositätsprüfungen bei der Erstbemusterung, für Requalifizierungsprüfungen oder serienbegleitende Stichprobenprüfungen
- Ergebnisse können in die SPC-Software Q-DAS exportiert und statistisch ausgewertet werden
- Nutzen Sie SPC-Daten als Grundlage für eine präzisere Optimierung der Gießprozesse

2: P _{ROI} 0.15 / Ø _P 7.00 / Ψ 0.35 / d _a 1.00 ("global")			
Porosity	[%]		0.06
Max. diameter	[mm]		14.15
Min. sphericity	[%]		37.98
Min. distance to surface	[mm]		0.94

BDG-Richtlinie P 203 = Prüfung von Leichtmetallgussstücken mittels Röntgen-Computertomographie (CT)



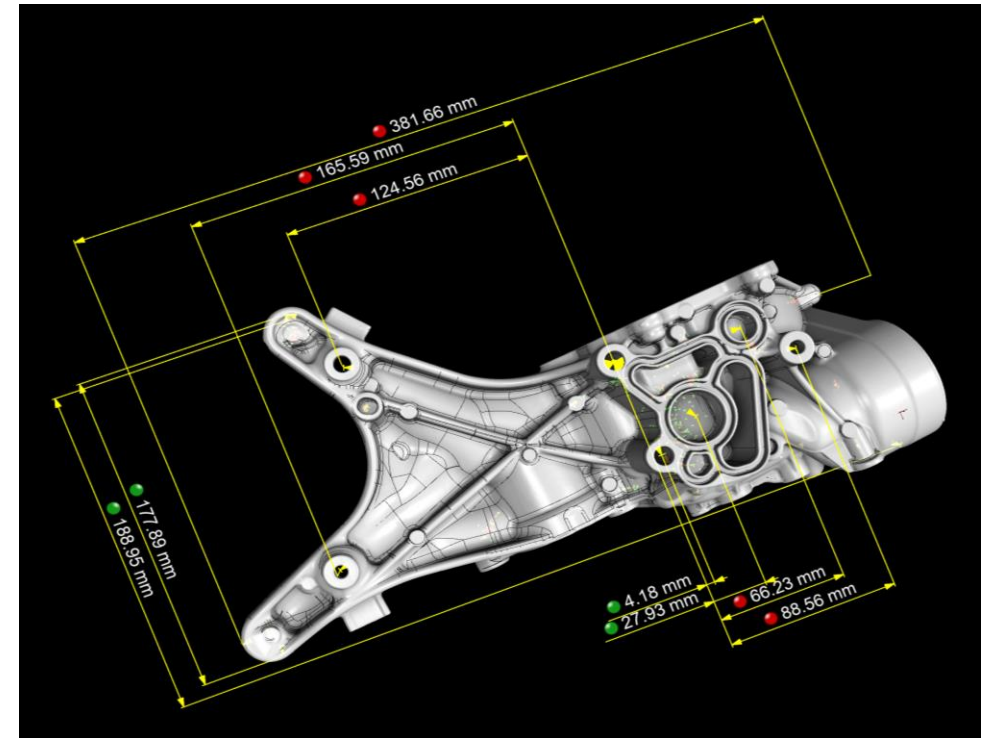
3

Dimensionale Messtechnik

3D-Messtechnik für Anwendungen in der Gießerei: Sekundenschnelle Überprüfung vieler geometrischer Maße

Nutzen Sie die CT als Ergänzung zum Koordinatenmessgerät für serienbegleitende Abstandsmessungen inklusive Toleranzauswertung, vergleichbar mit einer herkömmlichen Prüfvorrichtung mit Messtastern

- Prüfen Sie die Maße an Innen- und Außenkonturen, die Abstände und Maße für vorgegossene und/oder gestanzte Löcher und Durchbrüche
- Sparen Sie viel Zeit für die ersten maßlichen Beurteilungen im Rahmen einer Erstbemusterung und später bei der Überwachung der Serienproduktion
- Verwenden Sie Inspektionsroutinen („Jobs“) für wiederholte Maßprüfungen für eine beliebige Anzahl von CT-Scans
- Ergebnisse können in die SPC-Software Q-DAS exportiert und statistisch ausgewertet werden



Industrielle CT

Zerstörungsfreie Prüfung mit iCT in Leichtmetall-Gießereien



part of Hexagon

4

Automatisierte industrielle CT-Inspektion

Wenn die Anforderungen des Kunden an Sicherheit und/oder Funktionalität sehr hoch sind: **Qualitätssicherung mit 100% Inline-CT-Inspektion** durch innovative Machine-Learning-Funktionalitäten auf Basis künstlicher Intelligenz

- Industrieanwendungen: CT-Zykluszeit unter zwei Minuten
- Schnelle CT-Analysen auch bei eingeschränkter Bildqualität
- Der Umfang etwaiger Nachkontrollen kann erheblich eingeschränkt oder sogar auf Stichproben reduziert werden
- Digitalisieren und exportieren Sie CT-Inspektionsdaten für SPC und optimieren Sie den Gießprozess basierend auf ausgewählten Porositätsparametern
- Die verbesserte Effizienz in der Qualitätssicherung führt zu deutlichen Kostensenkungen im laufenden Betrieb einer Gießerei
- Erfahrungen aus der Industrie: Inline-CT-Systeme amortisieren sich in kurzer Zeit



Automatisierte CT-Inspektion mit VGinLINE und VG Machine Learning

Industrielle CT

Zerstörungsfreie Prüfung mit iCT in Leichtmetall-Gießereien



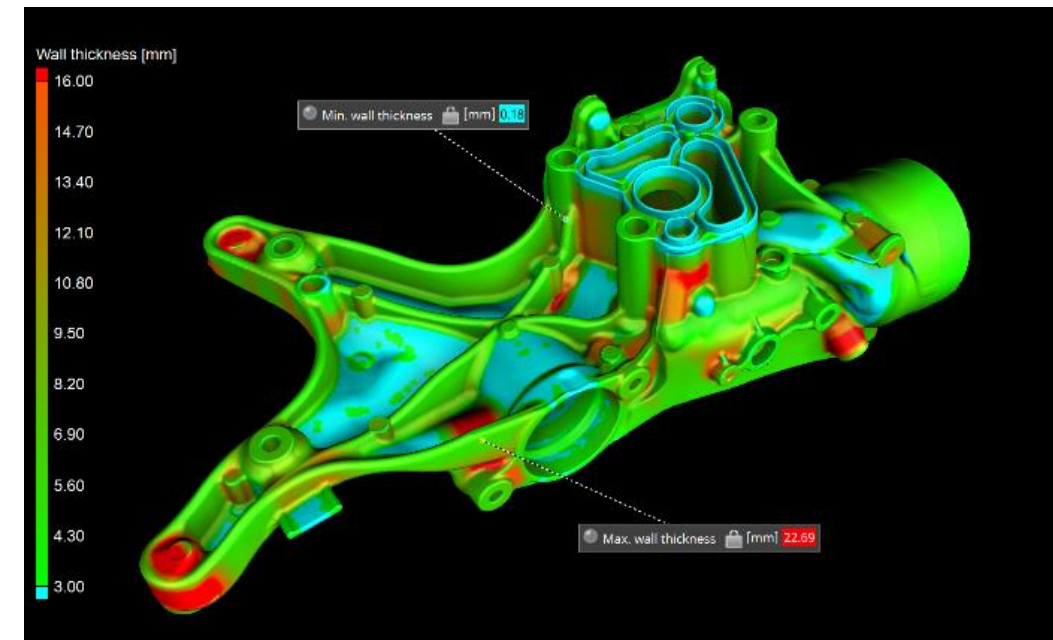
part of Hexagon

5

Wandstärkenanalyse

Wanddickenanalyse mit farbcodierter Darstellung für beliebig komplexe Geometrien

- Überprüfen Sie Wandstärkenabweichungen direkt auf CT-Scans, automatisch und schnell, ohne zeitaufwändige KMG-Arbeiten und/oder Zerstörung von Gussstücken durch Sägeschnitte
- Legen Sie Toleranzen für minimale, maximale oder durchschnittliche Wandstärken fest und visualisieren Sie die Ergebnisse in 2D-/3D-Ansichten
- Erkennen Sie schnell massive, qualitätsbeeinträchtigende Materialansammlungen
- Kann auf Voxeldaten (CT-Scan), Punktwolken, Oberflächennetzen oder direkt auf CAD-Daten verwendet werden
- Verwenden Sie Inspektionsroutinen („Jobs“) für wiederholte Wandstärkenanalysen für eine beliebige Anzahl von CT-Scans



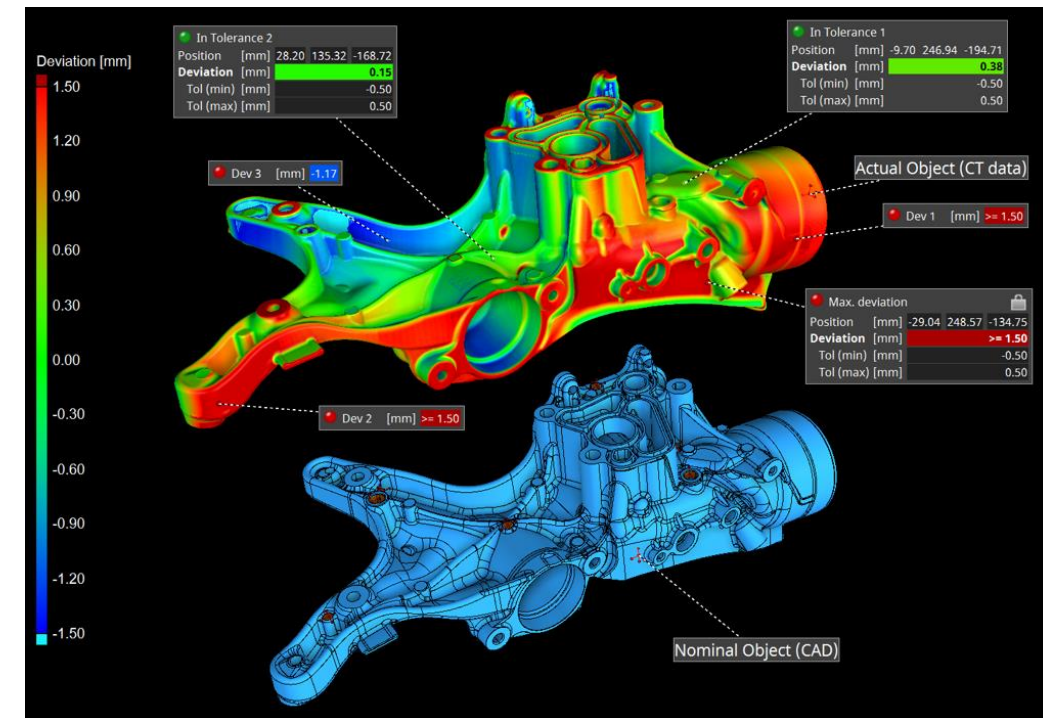
6

Soll-Ist-Vergleich

Der farbcodierte Soll-Ist-Vergleich bietet eine leicht verständliche Darstellung der Konturabweichungen Ihres gescannten Gussstücks im Vergleich zu einem Referenzdatensatz

Konturabweichungen prüfen, messen und vergleichen:

- Schwindung und Verformung/Verzug des Gussstücks nach der Entformung aufgrund lokal unterschiedlicher Bedingungen bei der Gussstückkühlung und/oder bei der Gießformtemperierung
- Beschädigte Formkonturen (z.B. Abriss exponierter Formkonturen oder Formeinsätze)
- Maßliche Abweichungen in der Form oder Formhälften, die nicht richtig schließen
- Formverschleiß (Erosionen, Brandrisse, andere Schäden)
- Verformungen beim Entformen, verursacht durch Verschleiß oder Materialanhaftungen an Formkonturen (z.B. Trennmittel)



7

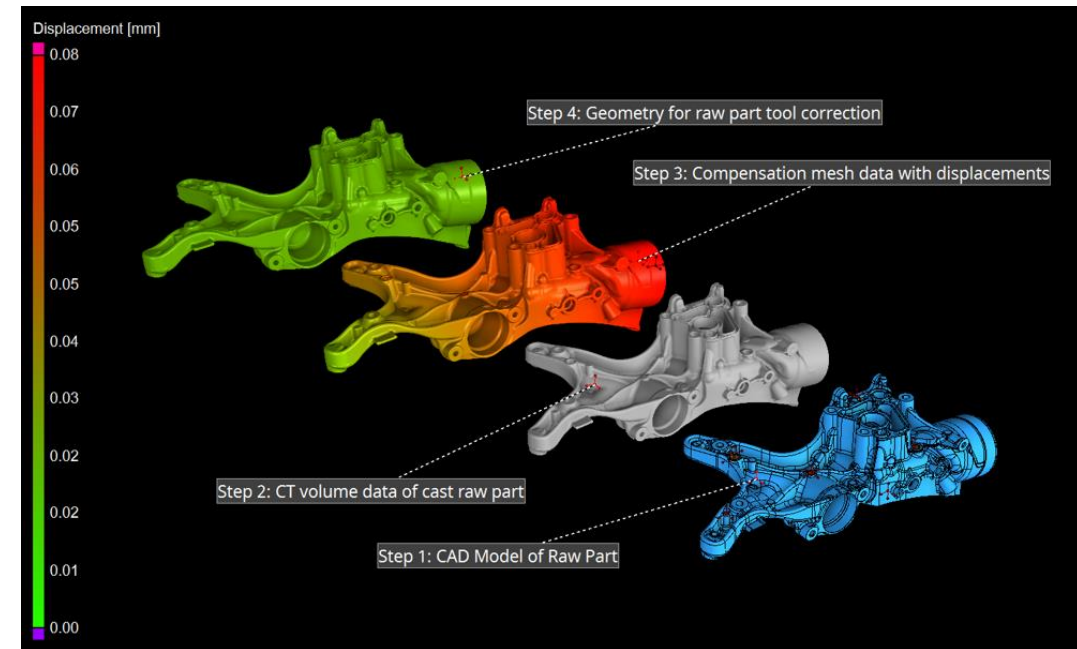
Fertigungsgeometriekorrektur

Korrigieren Sie Konturabweichungen, die durch Schwindung, Bauteilverzug oder Fertigungsfehler in der Gussform entstehen

- Identifizieren Sie nach der ersten Bemusterung die erforderlichen Konturänderungen an der Gießform
- Übersetzen Sie die neuen Oberflächeninformationen in eine CAD/CAM-Geometrie, die die Konturabweichungen ausgleicht
- Die neue CAD/CAM-Geometrie wird dann vom Formenbauer zur Formkorrektur/Formoptimierung verwendet

Vorteile:

- Reduzierung der Iterationen für Korrekturen an neu projektierten Gussformen
- Sowohl die KMG-Messkapazitäten als auch die frei werdenden Guss- und Bearbeitungskapazitäten können für andere Kundenaufträge genutzt werden

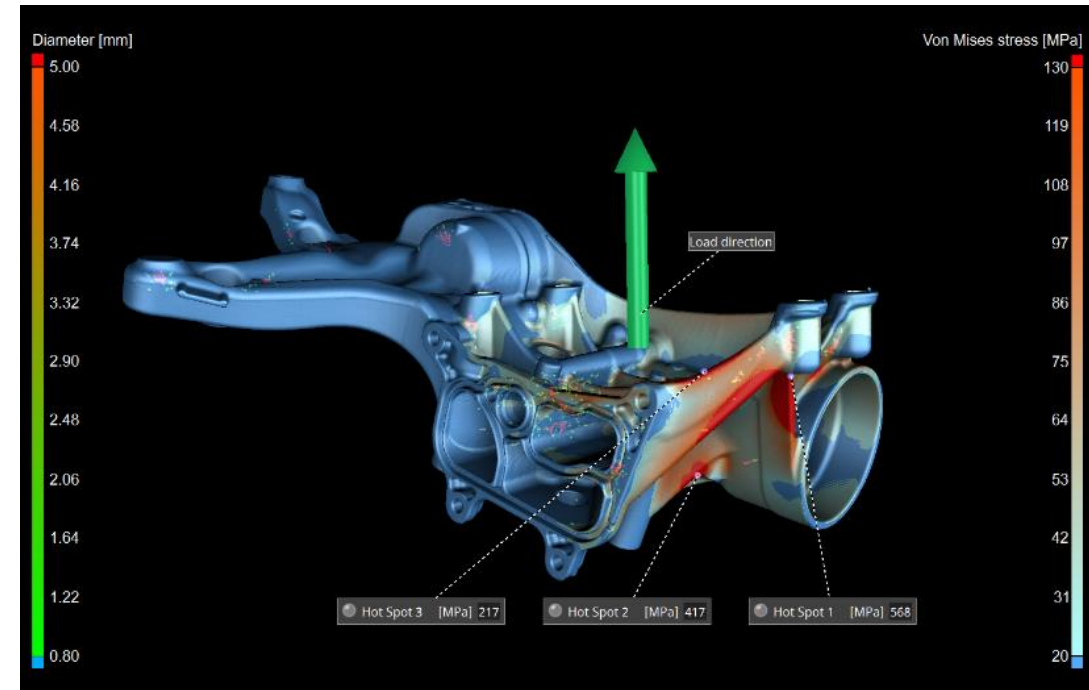


8

Strukturmechanik-Simulation

Produktionsbedingt nicht völlig vermeidbare Ungängen wie z.B. Fehlstellen in Form von Porosität führen nicht zwangsläufig zu Gussausschuss!

- Prüfen Sie mit nur geringem Aufwand den Einfluss von Ungängen auf die Festigkeitseigenschaften
- Wird direkt auf CT-Scans ausgeführt, keine zeitaufwändige Volumenvernetzung erforderlich
- Simulierte Spannungen (Zug-, Druck- oder Torsionsspannungen) können in direkten Zusammenhang mit den im CT-Scan des Gussstücks indizierten Ungängen gebracht werden
- Keine FEM-Simulationskenntnisse erforderlich



9

Reverse Engineering

Erstellung von CAD-Datenmodellen auf Basis von 3D-CT-Scans

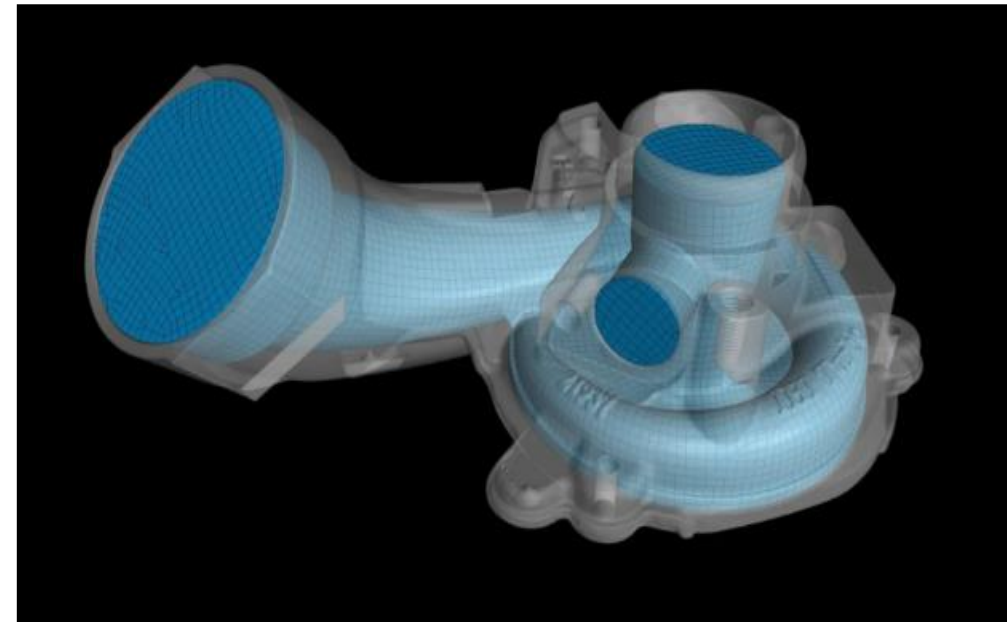
- Von einem älteren Produkt sind keine 3D-CAD-Daten vorhanden?
- Oder unterscheiden sich die tatsächlichen Gussstücke oder Werkzeuge vom 3D-CAD-Mastermodell?
- Oder müssen handgefertigte Designmodelle digital verfügbar sein?

Erstellen Sie einen digitalen Zwilling:

- Konvertieren Sie CT-Scans in CAD-Modelle
- Einschließlich aller Innengeometrien wie medienführende Kanäle
- Exportieren Sie die neuen CAD-Modelle in Ihr CAD-System

Beispiel:

- Extrahieren Sie im CT-Scan komplexe Bereiche eines Bauteils, wie beispielsweise medienführende Kanäle in einem Pumpengehäuse, und nutzen Sie diese in CAD-Datensätzen, um einen 3D-gedruckten Sandkern herzustellen



10

Kostensenkungspotenzial durch Atline-CT (1)

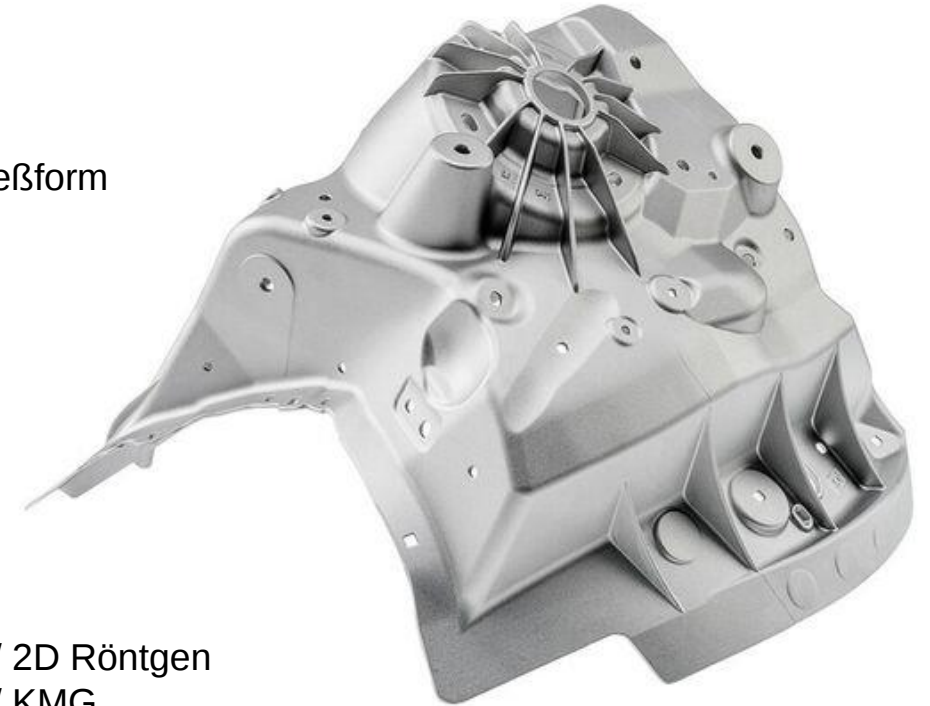
Beispiel: Federbeinstütze LH & RH Version / Druckguss mit 2-Fach-Druckgießform

- Al-Druckguss: 2-Fach-Druckgießform / DGM 3500t
- Jahresstückzahl: 60000 Paare LH/RH
- Gewicht Rohteil: 4,5 kg je Gussstück
- Schussgewicht: 13,5 kg
- Legierung: AlSi10MnMg
- Wärmebehandlung, zweistufig: T7
- Richtprozess
- Spanabhebende Bearbeitung
- WBK-Prozess (Waschen, Beizen, Konservieren)
- Stichprobenprüfung Porosität Rohteil: 1x je Formnest & Schicht / 2D Röntgen
- Stichprobenprüfung Geometrie Rohteil: 1x je Formnest & Schicht / KMG
- Stichprobenprüfung Bearbeitung Fertigteil: 1x je Fertigteil LH/RH / KMG

Produktionskosten Guss: EUR 20,78 (Anteil Al-Gussleg.: EUR 12,60)

Produktionskosten Bearbeitung: EUR 13,05

Preis Fertigteil: EUR 33,83



Federbeinstütze
(Quelle: Bühler AG)

10

Kostensenkungspotenzial durch Atline-CT (2)

Beispiel: Federbeinstütze LH & RH Version

Jährliche Ausschusskosten (ohne Legierungskosten)

Produktionskosten Guss: EUR 10,90 / OEE 62.5% / Ausschussanteil 12 % => Ausschuss: 14.400 Gussstücke

Jährliches Defizit 1: EUR - 156.960,00

Prod.kosten Guss & Bearb.: EUR 10,90+18,00 / OEE 82.5% / Ausschussanteil 16 % => Ausschuss: 19.200 Gussstücke

Jährliches Defizit 2: EUR - 554.880,00

Summe Defizite 1 + 2: EUR - 711.840,00

OEE = Overall Equipment Effectiveness
(GAE = Gesamtanlageneffektivität)

Hinweis:

Dieses Beispiel ist fiktiv. Die tatsächlichen Zahlen können je nach den Bedingungen in einer Gießerei nach oben oder unten variieren.

Grundsätzlich zeigt das Beispiel, dass zu hohe Ausschussquoten schnell zu Bonitätsproblemen innerhalb einer Gießerei führen können!

Industrielle CT

Zerstörungsfreie Prüfung mit iCT in Leichtmetall-Gießereien



part of Hexagon

10

Kostensenkungspotenzial durch Atline-CT (3)

ZIELE:

Reduzierung der Ausschussraten innerhalb von 6 bis 12 Monaten auf maximal 3 %
und Senkung der Produktionskosten auf kalkulierte Werte

Deutliche Verbesserung der OEE für Gießzelle und Zerspanungsumfänge

Effiziente Erkennung, Klassifizierung und Auswertung von Porositäten in
Gussstücken und Optimierung aller Prozesse, die Einfluss auf die hohen
Ausschussraten haben

Im Rahmen von KVP-Prozessen weitere Reduzierung der Ausschussraten und
weitere Senkung der Produktionskosten (Rationalisierungspotenziale)

10

Kostensenkungspotenzial durch Atline-CT (4)

Teil der Lösung: Einführung und Anwendung der industriellen CT

- Porositätsprüfung
 - Quantifizierung und Klassifizierung von Porositäten
 - für Gießprozess- und Entlüftungsoptimierungen
 - Digitalisierung von Porositätsdaten: Statistische Erfassung und Auswertung von Porositätsparametern mit Hilfe von CT und SPC
- Soll-/Ist-Vergleiche und Korrektur der Fertigungsgeometrie
 - Erfassung von nicht maßhaltigen Rohteilkonturen auf Shopfloor-Level mit Hilfe von CT und/oder 3D Scanner
 - Erfassung / Überwachung Bauteilverzug und Bauteilwanddicken
 - Überwachung Gießformverschleiß
- Dimensionale Messtechnik
 - Vermessung der vorgefertigten und gestanzten Löcher / Durchbrüche

Industrielle CT

Zerstörungsfreie Prüfung mit iCT in Leichtmetall-Gießereien



Kostensenkungspotenzial durch Atline-CT (5)

Beispiel: Federbeinstütze LH & RH Version

Investition in Atline-CT Anlage:	EUR	750.000,00	
Plus Rücklagen für Wartung, Reparaturen, Schulungen:	EUR	75.000,00	(= 10% des Investments, jährlich)
Summe der Investition CT Anlage:	EUR	825.000,00	

Hinweis: Der Anteil der Lohnkosten ist in den Produktionskosten „CT-Inspektion“ enthalten

10

Kostensenkungspotenzial durch Atline-CT (6)

Beispiel: Federbeinstütze LH & RH Version

Reduzierung des Gussausschusses um 9 Prozentpunkte

Produktionskosten Guss: **EUR 8,89** / OEE 75% / Ausschussanteil 3% (minus 10.800 Gussstücke)

Kostensenkung 1 (jährlich): EUR 96.012,00

Reduzierung des Ausschussanteils nach Bearbeitung um 12 Prozentpunkte

Produktionskosten Guss & Bearb.: **EUR 8,89+14,85** / OEE 87,5% / Ausschussanteil 4% (minus 14.400 bearb. Gussstücke)

Kostensenkung 2 (jährlich): EUR 341.856,00

Hinweis:

In diesem Beispiel ist das neue Atline-CT-System nur zu etwa 10 % ausgelastet!

Damit stehen rund 90 % der Kapazität des CT-Systems für andere, vergleichbare Projekte zur Verfügung!

Industrielle CT

Zerstörungsfreie Prüfung mit iCT in Leichtmetall-Gießereien

10

Kostensenkungspotenzial durch Atline-CT (7)

Beispiel: Federbeinstütze LH & RH Version

Kostenreduzierungen im zweiten Jahr der Produktion

Kostensenkung 1: EUR 96.012,00

Kostensenkung 2: EUR 341.856,00

Summe der Kostensenkungen: EUR 437.868,00

Investition Atline-CT System: EUR 825.000,00

Kosten je Gussstück vor Optimierung:

EUR 41.50 (minus EUR 7,67)

Kosten je Gussstück nach 1. Optimierung:

EUR 36.34 (minus EUR 2,51)

Kalkulierte Produktkosten:

(Liefervertrag mit Abnehmer)

EUR 33.83

Amortisation der Investition Atline-CT-System in weniger als 2 Jahren!
(In diesem Beispiel nach ca. 23 Monaten)

11

Zusammenfassung

Die industrielle Computertomographie (iCT) in der Gießerei kann viel mehr für Sie tun, als Sie erwarten

- Mit Atline-CT-Systemen für den Produktionsan- und -hochlauf sowie serienbegleitende Stichprobenprüfungen
- Mit Inline-CT-Systemen zur 100%igen Qualitätssicherung bei sehr hohen Anforderungen an Sicherheit und/oder Funktionalität

Umfangreiche Prüfmöglichkeiten für Gussstücke auf Basis der industriellen CT, z.B.:

- Porositäts-/Einschlussanalyse: CT-Inspektion zur Quantifizierung und Klassifizierung von Ungängen
- Messung und Vergleich von Konturabweichungen und/oder Wandstärken an Gussstücken
- Vermessung vieler geometrischer Abmessungen in Sekundenschnelle
- Reverse Engineering: Erstellen neuer CAD-Datenmodelle auf Basis von 3D-CT-Daten
- Und vieles mehr

Das Beispiel für Kostensenkungspotenzial Federbeinstütze LH/RH sowie Erfahrungen aus der Industrie zeigen auf, dass sich Investitionen in Atline-CT-Systeme schon nach kurzer Zeit amortisieren!

Glück auf!



part of Hexagon

Haben Sie Fragen?



Rufen Sie uns an:
+49 6221 73920 60



Oder senden Sie uns eine E-Mail:
sales@volumegraphics.com

Erhalten Sie die neuesten Informationen, indem Sie sich für unseren kostenlosen Newsletter anmelden:



Let's Connect:   

Vielen Dank!

Andreas.Harborth@volumegraphics.com