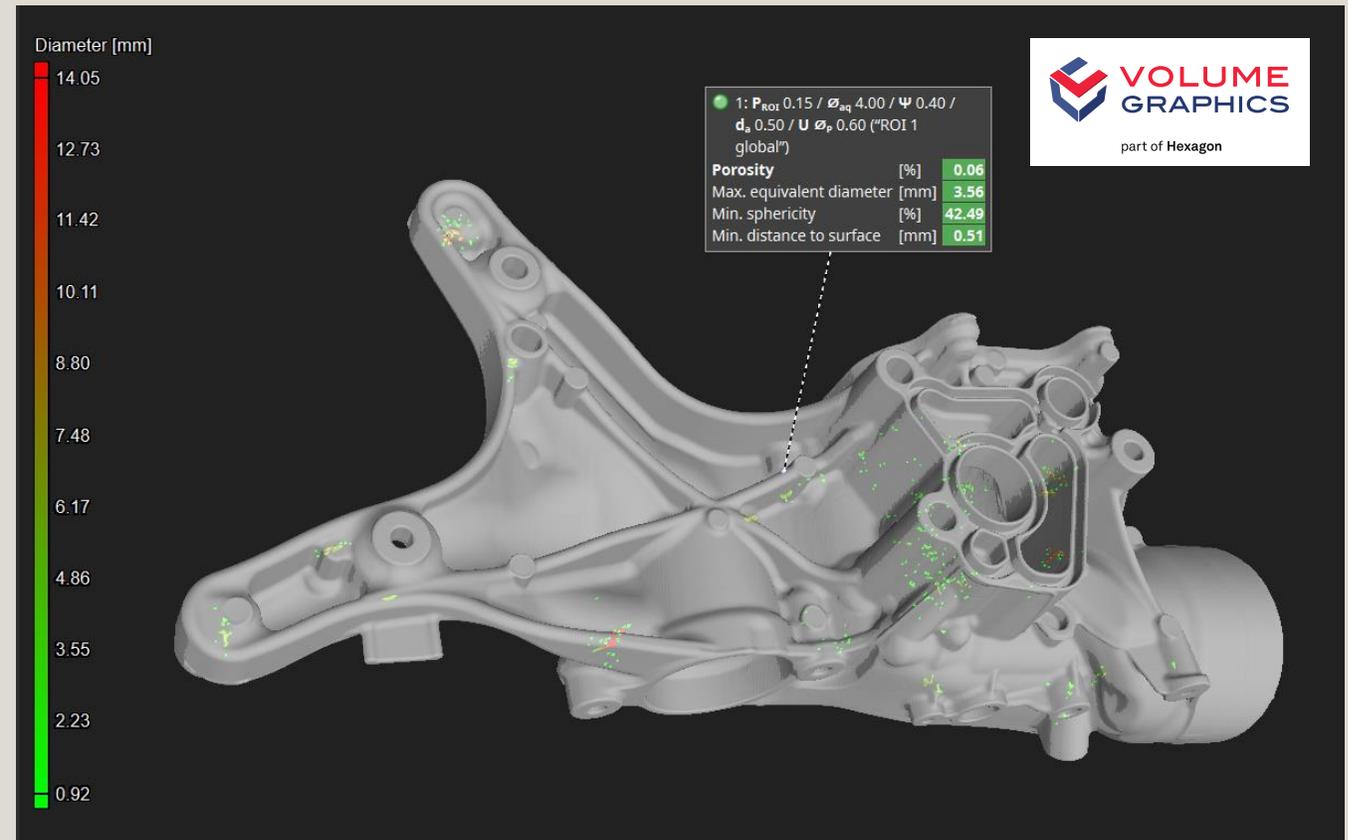


ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

Detektion und Bewertung von Porositäten
mit industrieller CT unter Anwendung der
BDG-Richtlinie P 203

Andreas Harborth
Product Manager Casting

Volume Graphics GmbH
Speyerer Str. 4-6
69115 Heidelberg



ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

Übersicht

1. Industrielle Computertomographie (iCT) für Gießereianwendungen
2. Einfluss der Porosität auf die statische und dynamische Festigkeit von Gussstücken
3. BDG - P 203 Anwendungsbeispiel / Spezifikation Porosität
4. BDG - P 203 Anwendungsbeispiel / Porositätsanalyse
5. Statistische Erfassung und Auswertung von Porositätsdaten
6. Diskussion der Ergebnisse
7. Zusammenfassung

ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

Übersicht

1. **Industrielle Computertomographie (iCT) für Gießereianwendungen**
2. Einfluss der Porosität auf die statische und dynamische Festigkeit von Gussstücken
3. BDG - P 203 Anwendungsbeispiel / Spezifikation Porosität
4. BDG - P 203 Anwendungsbeispiel / Porositätsanalyse
5. Statistische Erfassung und Auswertung von Porositätsdaten
6. Diskussion der Ergebnisse
7. Zusammenfassung

ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

1. Industrielle Computertomographie (iCT) für Gießereianwendungen

Leichtmetallguss hat technische und wirtschaftliche Vorteile:

- > Hohe Funktionsintegration
- > Geringes spezifisches Gewicht
- > Große Produktionsmengen in kurzer Zeit
- > Hohe Maßgenauigkeit
- > Gute Bearbeitbarkeit
- > Hohe Recyclingquoten bei gleichzeitig geringem Energieverbrauch

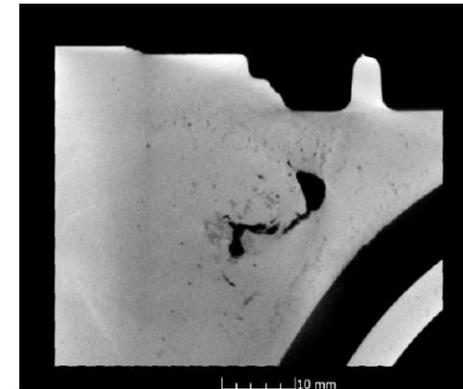


ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

1. Industrielle Computertomographie (iCT) für Gießereianwendungen

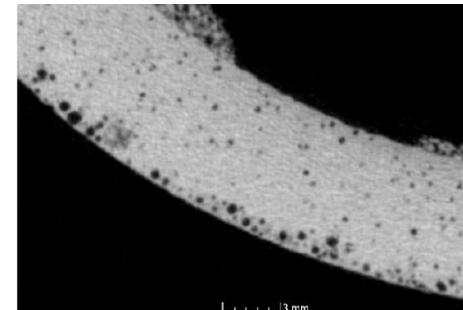
Leichtmetallguss weist jedoch prozessbedingte Volumendefizite auf:

- > Schwindungsporosität
 - Schwindungslunker (Erstarrungskontraktion)
 - Mikroporosität (Erstarrungsmorphologie)
- > Gasporosität
 - H₂ (Löslichkeitsgrenze)
 - Wasserdampf (Formstoffe, Trennmittel)
 - Kohlenwasserstoffe (Trennmittel, Schmierstoffe)
 - Luft einschluss (turbulente Formfüllung)



**Bild 03: Beispiel für
Schwindungsporosität
(Lunker)**

Quelle: BDG-Richtlinie P 203



**Bild 04: Beispiel für
Gasporosität**

Quelle: BDG-Richtlinie P 203

ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

1. Industrielle Computertomographie (iCT) für Gießereianwendungen

Warum ergänzt die industrielle 3D-Computertomographie zunehmend die etablierte 2D-Röntgentechnik?

| | | | | | |
|---|--|---|---|--|---|
| <p>Visuelle Inspektion (inkl. Bilderstellung)</p> | | | | | <p>2D & 3D Porositäts- und Einschlussanalysen</p> |
| <p>Automatisierte Inspektion</p> | | <p>Soll/Ist-Vergleiche (Schwindung & Deformation)</p> | | | |
| <p>Automatisierte Fehlererkennung</p> | | <p>Wanddickenanalysen</p> | | | |
| | <p>Vermessung Gussstückgeometrie</p> | | | | |
| | <p>Automatisierte OK / NOK Entscheidungen</p> | | | | |
| | <p>Gießform-Korrektur</p> | | | | |
| | <p>Strukturmechanische Analysen inkl. der Ungängen</p> | | | | |
| | <p>Reverse Engineering (inkl. innenliegender Konturen)</p> | | | | |
| <p>Bild 05: Vorteile 3D-CT Quelle: Volume Graphics</p> | | <p>2D-Röntgen: Schattenbild ohne Tiefenauflösung</p> | <p>3D-CT: vollständige volumetrische Informationen</p> | | |

ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

Übersicht

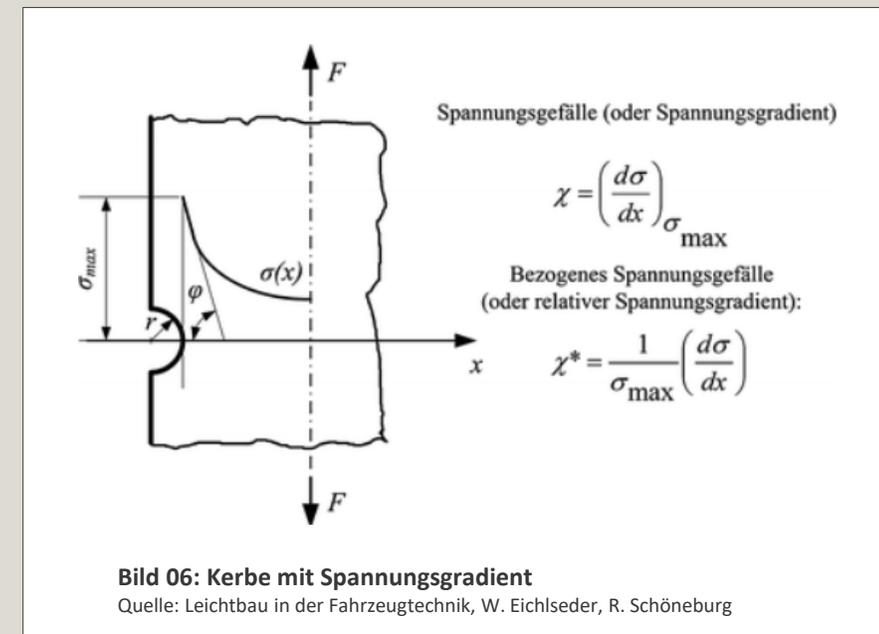
1. Industrielle Computertomographie (iCT) für Gießereianwendungen
2. **Einfluss der Porosität auf die statische und dynamische Festigkeit von Gussstücken**
3. BDG - P 203 Anwendungsbeispiel / Spezifikation Porosität
4. BDG - P 203 Anwendungsbeispiel / Porositätsanalyse
5. Statistische Erfassung und Auswertung von Porositätsdaten
6. Diskussion der Ergebnisse
7. Zusammenfassung

ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

2. Einfluss der Porosität auf die statische und dynamische Festigkeit von Gussstücken

Einflüsse auf Festigkeitseigenschaften eines Gussstücks

- > **Werkstoffeigenschaften** der Gusslegierung
(Legierungszusammensetzung, Erstarrungsmorphologie, Duktilität, E-Modul)
- > **Wärmebehandlungszustand**
(F, O, T4, T5, T6, T7)
- > **Kerbempfindlichkeit**
(Kerbform α_k , Kerbwirkung β_k)
- > **Örtliche Betriebsbeanspruchungen**
(Zug-, Druck- und Torsionsspannungen, Dauerschwingbelastungen)



ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

2. Einfluss der Porosität auf die statische und dynamische Festigkeit von Gussstücken

Festigkeitseigenschaften eines Gussstücks
auch abhängig von der Porosität

> Porengröße und -volumen

- Abmessungen, Poren- \varnothing [mm]
- Volumen Einzelporen V_p [mm³]
- Volumenporosität lokal / global [%]

> Porenmorphologie

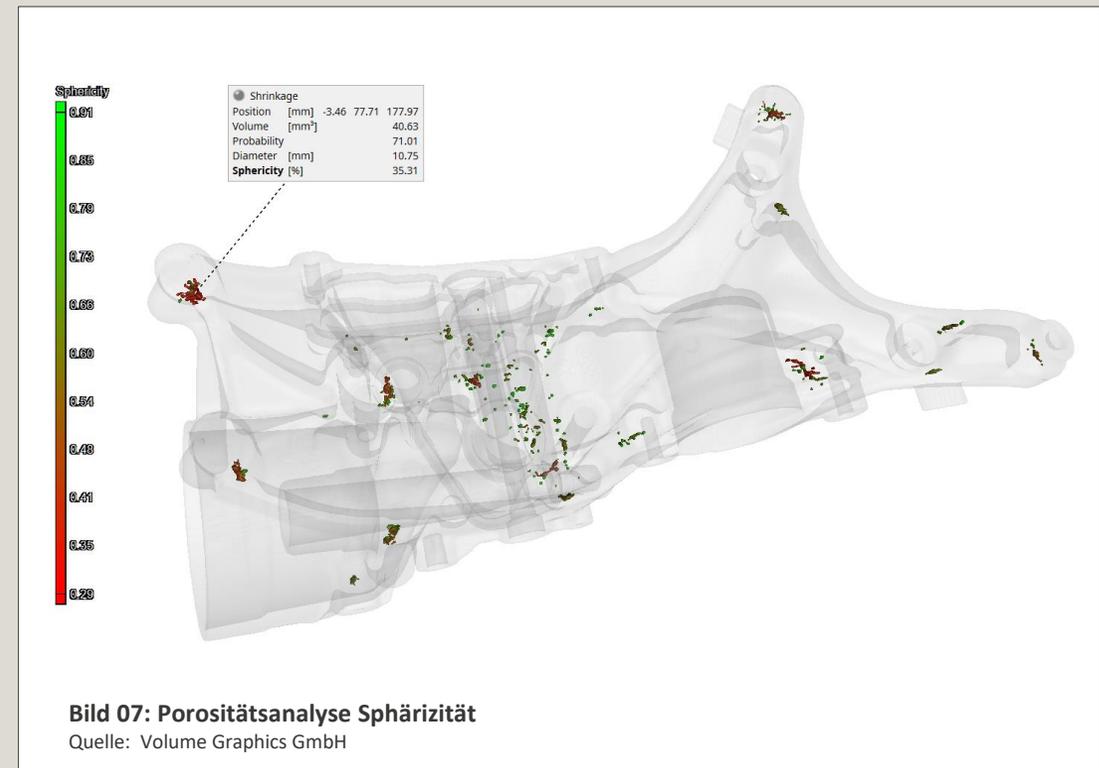
- Globular/sphärisch, überwiegend glattwandig
- Zerklüftet, überwiegend rauwandig

> Lage

- Mitte der Wanddicke / neutrale Faser
- Oberflächennah

> Anzahl und Verteilung

- z.B. Porenhäufungen / Porennester



ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

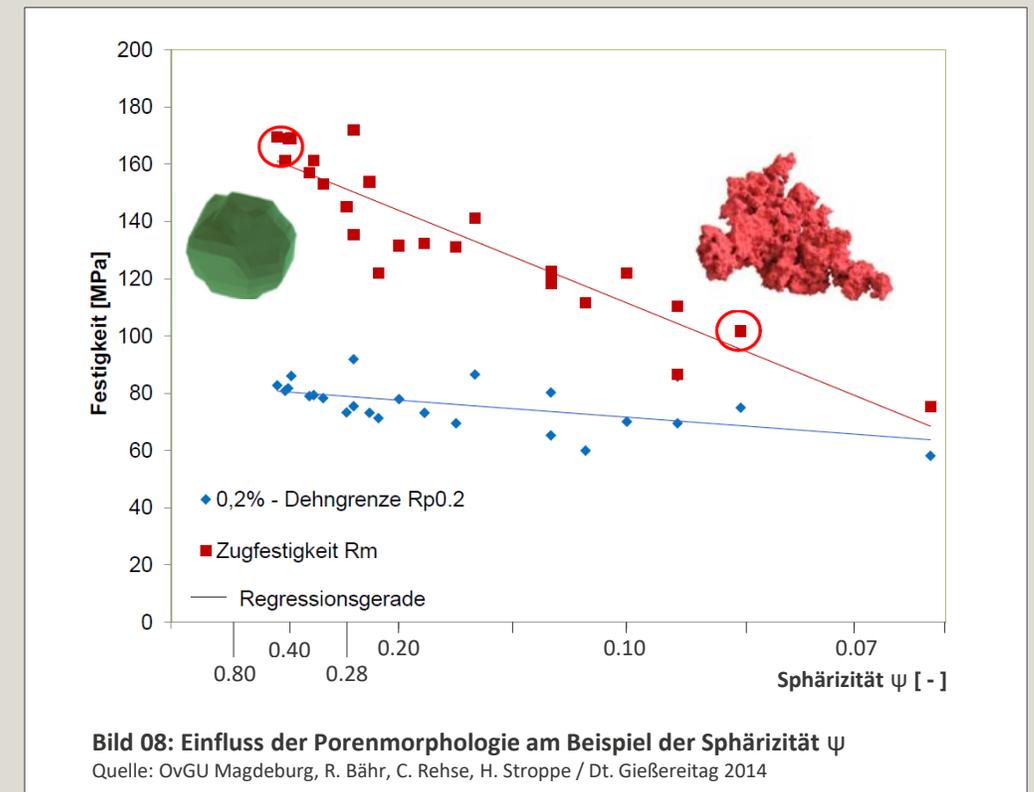
2. Einfluss der Porosität auf die statische und dynamische Festigkeit von Gussstücken

Wirkung der Porosität auf Festigkeitskennwerte

- > Volumenporosität, Anzahl der Poren
- > Art der Porenverteilung und
- > Porenmorphologie ...

... beeinflussen die statischen Festigkeitswerte

- Dehngrenze $R_{p0.2}$ [MPa]
- Zugfestigkeit R_m [MPa]
- Bruchdehnung A [%]

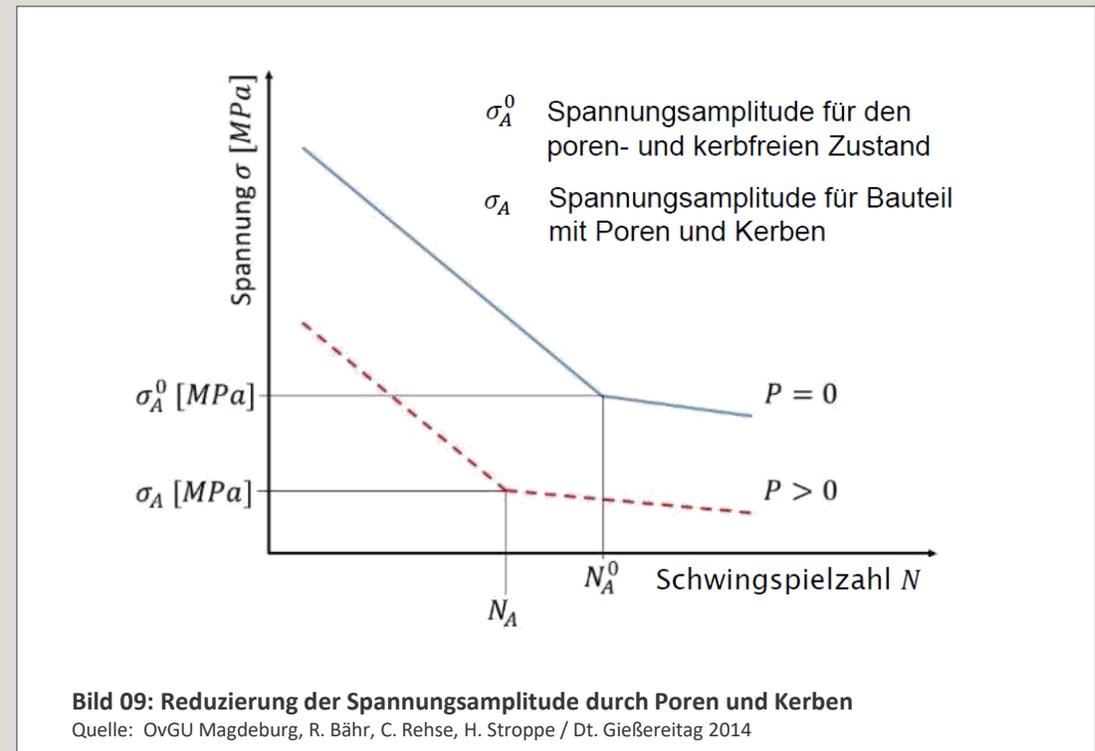


ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

2. Einfluss der Porosität auf die statische und dynamische Festigkeit von Gussstücken

Wirkung der Porosität auf Festigkeitskennwerte

- > Volumenporosität, Art der Porenverteilung und Porenmorphologie beeinflussen hochsignifikant ...
- > ... die dynamischen Festigkeitswerte
 - Schwingfestigkeit σ_S
 - Bruchlastspielzahl N_{BL}
- > Abnahme der Bruchlastspielzahl mit ...
 - ... abnehmender Sphärizität ψ ,
 - ... abnehmenden Randabstand d_a ,
 - ... zunehmender Volumenporosität V_p und
 - ... zunehmenden Porendurchmesser \varnothing_p



ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

2. Einfluss der Porosität auf die statische und dynamische Festigkeit von Gussstücken

Beispiel: Einfluss der Porenmorphologie / Sphärizität ψ

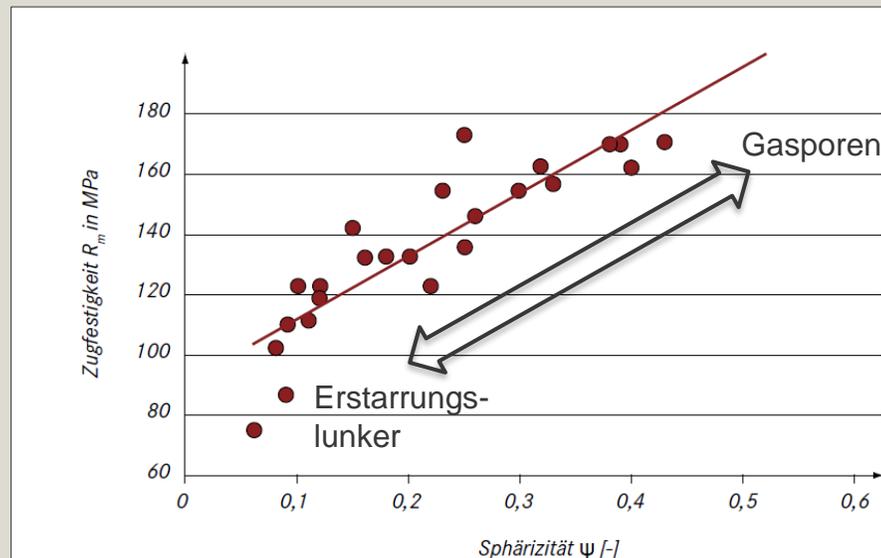


Bild 10: Porosität / Einfluss der Sphärizität ψ auf die Zugfestigkeit (Legierung AlSi7Mg0,3 F)

Quelle: OvGU Magdeburg, C. Rehse, C. Michaelis, R. Bähr / Gießerei 103 05/2016

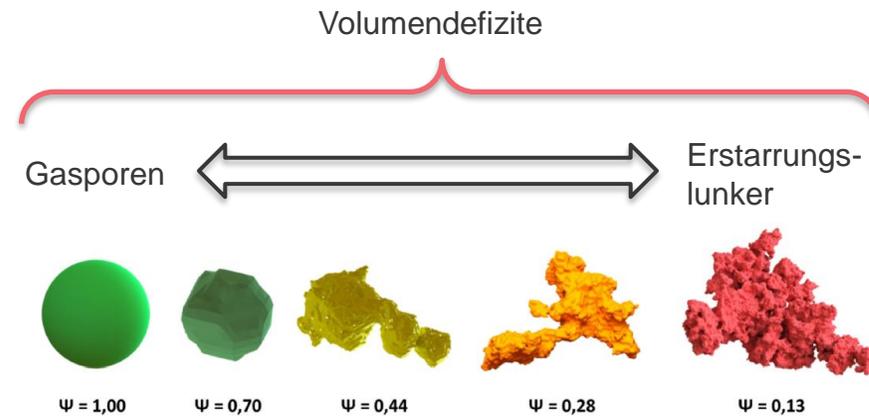


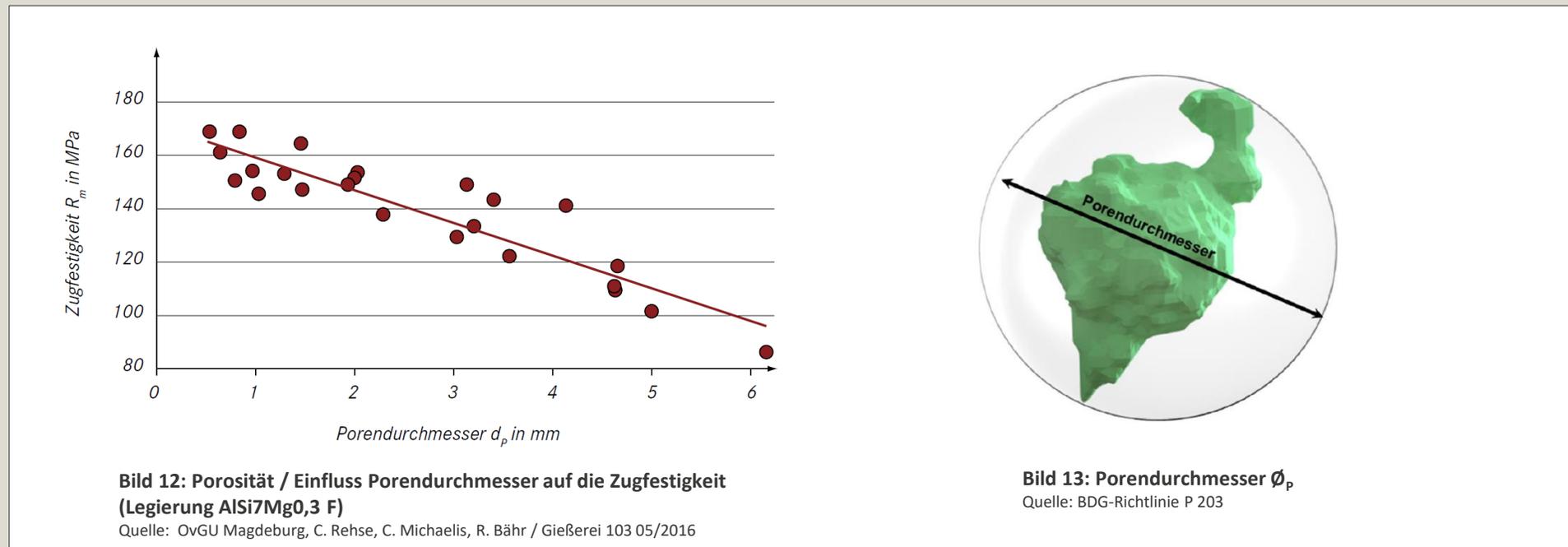
Bild 11: Porosität mit verschiedenen Sphärizitätswerten ψ

Quelle: BDG-Richtlinie P 203 / Volume Graphics GmbH

ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

2. Einfluss der Porosität auf die statische und dynamische Festigkeit von Gussstücken

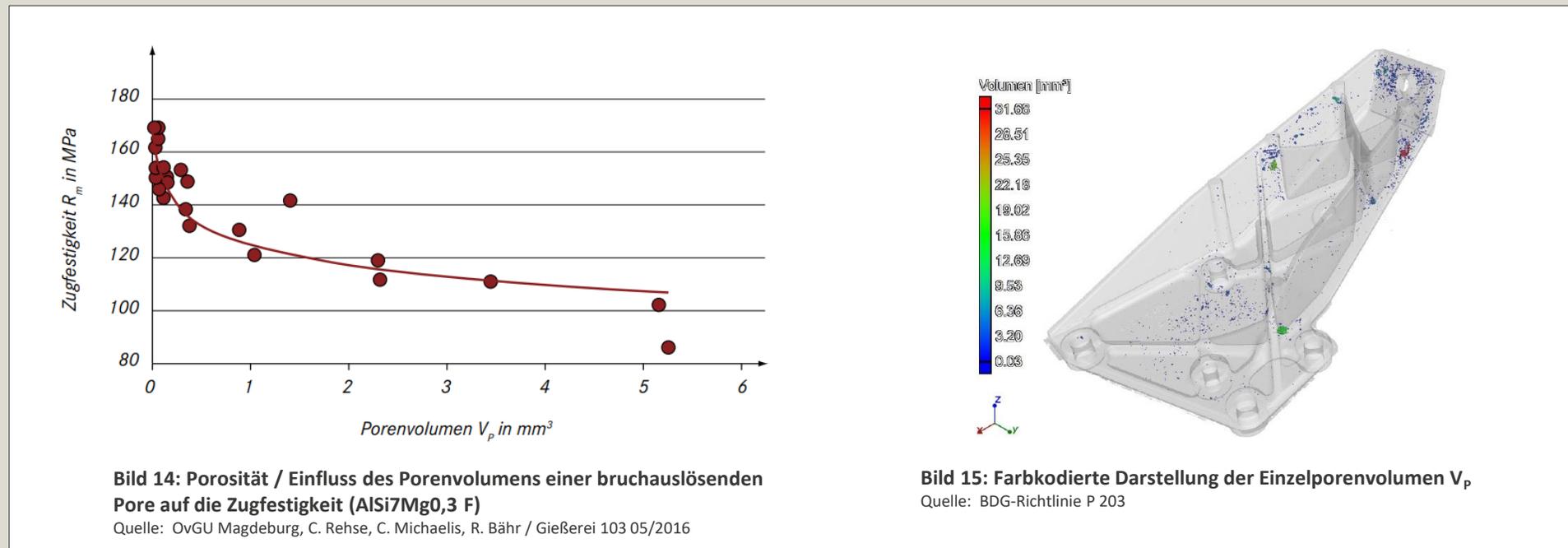
Beispiel: Einfluss der Porengröße / Porendurchmesser \varnothing_p



ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

2. Einfluss der Porosität auf die statische und dynamische Festigkeit von Gussstücken

Beispiel: Einfluss der Porengröße / Einzelporenvolumen V_p



ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

2. Einfluss der Porosität auf die statische und dynamische Festigkeit von Gussstücken

Beispiel: Einfluss der Porenlage / Randabstand d_a

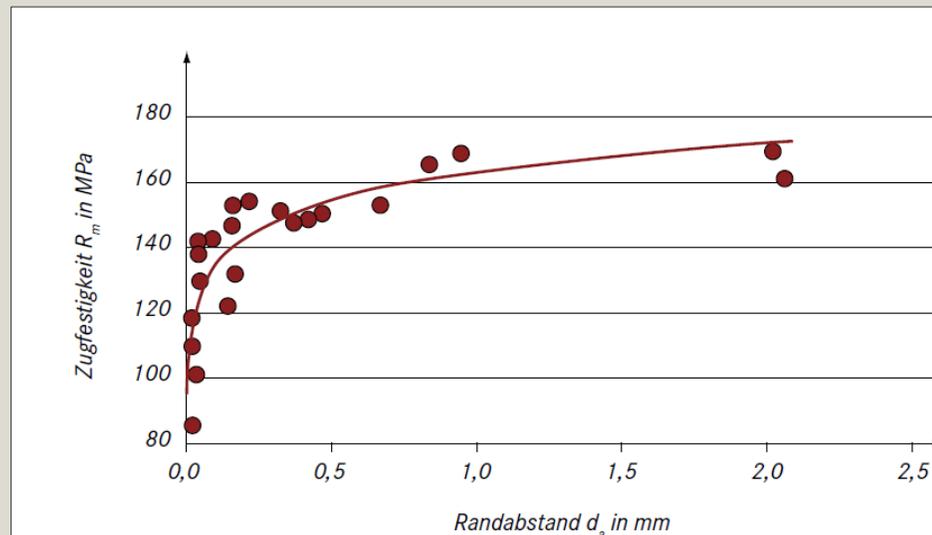


Bild 16: Porosität / Einfluss Randabstand einzelner Poren auf die Zugfestigkeit (Legierung AlSi7Mg0,3 F)

Quelle: OvGU Magdeburg, C. Rehse, C. Michaelis, R. Bähr / Gießerei 103 05/2016

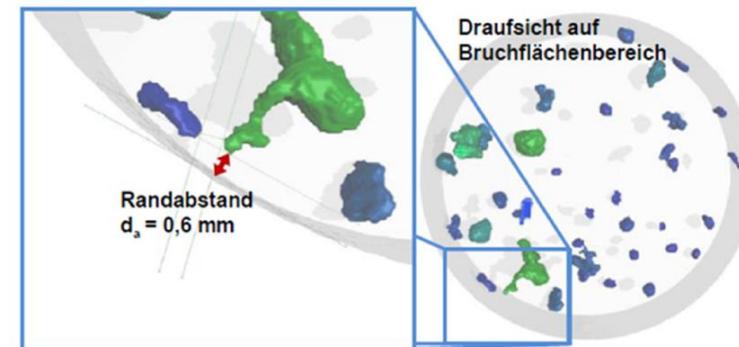


Bild 17: Abstand der Porenoberfläche zur Gussstückoberfläche

Quelle: BDG-Richtlinie P 203

ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

Übersicht

1. Industrielle Computertomographie (iCT) für Gießereianwendungen
2. Einfluss der Porosität auf die statische und dynamische Festigkeit von Gussstücken
3. **BDG - P 203 Anwendungsbeispiel / Spezifikation Porosität**
4. BDG - P 203 Anwendungsbeispiel / Porositätsanalyse
5. Statistische Erfassung und Auswertung von Porositätsdaten
6. Diskussion der Ergebnisse
7. Zusammenfassung

ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

3. BDG - P 203 Anwendungsbeispiel / Spezifikation Porosität

BDG - Richtlinie P 203 (Stand: 12. Dez. 2019)

- > Prüfung von Gussstücken aus Al-, Mg- und Zn-Gusslegierungen
- > Grundlegende Zusammenhänge und wichtige Einflussgrößen
- > Porositätsanalyse und –beurteilung mit iCT
- > Praktische Methoden zur Q-Beurteilung der CT-Bilder
- > **Dreidimensionale Beschreibung von Volumendefiziten**
- > **Porositätsspezifikation mittels Porositätsschlüssel**

Herausgeber: BDG, Hansaallee 203, 40549 Düsseldorf
Zu beziehen über: www.guss.de


BDG – Richtlinie

P 203
Stand: 12. Dezember 2019

Porositätsanalyse und -beurteilung mittels industrieller Röntgen- Computertomographie (CT)

INHALT:

| | | |
|-------|---|-------|
| 1 | Geltungsbereich | S. 2 |
| 2 | Mitteltende Normen und Richtlinien | S. 3 |
| 3 | Abkürzungsverzeichnis/Glossar | S. 3 |
| 4 | Erläuterung innere Volumendefizite | S. 4 |
| 4.1 | Schwindungsporosität (Lunker) | S. 4 |
| 4.2 | Schwammartiges Gefüge | S. 5 |
| 4.3 | Gasporosität | S. 5 |
| 4.3.1 | Thermodynamisch bedingte Gasporosität | S. 6 |
| 4.3.2 | Strömungsmechanisch bedingte Gasporosität | S. 6 |
| 4.3.3 | Formstoffbedingte Gasporosität | S. 6 |
| 5 | Messmethode Röntgen-Computertomographie (CT) | S. 7 |
| 5.1 | Grundlagen und Terminologie | S. 7 |
| 5.2 | Detaillierbarkeitstheoretische Voxelgröße | S. 8 |
| 5.3 | Artefakte | S. 9 |
| 5.3.1 | Strahlauflösungsartefakte | S. 10 |
| 5.3.2 | Streustrahlungsartefakte | S. 10 |
| 5.3.3 | Weitere Artefakte | S. 10 |
| 5.4 | Verfahren zur Artefaktreduzierung | S. 11 |
| 5.4.1 | Röntgenvorfilterung | S. 11 |
| 5.4.2 | Numerische Strahlauflösungskorrektur | S. 12 |
| 5.4.3 | Dual Energy-CT | S. 12 |
| 5.5 | Numerische Simulation von CT-Aufnahmen | S. 13 |
| 5.6 | Anlagenqualifizierung | S. 13 |
| 5.6.1 | Geometriekorrektur | S. 13 |
| 5.6.2 | Abbildungsmaßstab | S. 14 |
| 5.6.3 | Räumliche Auflösung | S. 14 |
| 5.6.4 | Kontrast- und Rauschigenschaften | S. 14 |
| 5.7 | Prüfdurchführung | S. 15 |
| 5.7.1 | Voraussetzungen, Detektoreinstellungen, Anlagenstabilität | S. 15 |
| 5.7.2 | Überprüfung der Messqualität der CT-Daten vom Prüfobjekt | S. 16 |

Herausgeber: BDG, Hansaallee 203, 40549 Düsseldorf
Zu beziehen über: www.bdguss.de
Seite 1 von 38

Bild 18: BDG – Richtlinie P 203
Quelle: www.bdguss.de

ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

3. BDG - P 203 Anwendungsbeispiel / Spezifikation Porosität

Anwendungsbeispiel für die Umsetzung
der BDG – Richtlinie P 203

- > Halter NA
- > Druckguss
- > Abguss in 1-fach-Druckgießform
- > Werkstoff AlSi9Cu3(Fe) / D226
- > Großserie
- > Automotive



Bild 19: Anwendungsbeispiel Halter NA, Druckguss, AlSi9Cu3(Fe)
Quelle: Volume Graphics GmbH

ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

3. BDG - P 203 Anwendungsbeispiel / Spezifikation Porosität

Kennzeichnung der Bereiche mit funktions-spezifischen Porositätsanforderungen

- > durch den Konstrukteur (Kunde)
- > Definierte Zuordnung und Kennzeichnung
- > Vergleichbar einer Form- und Lagetoleranz

Gewinde S68x3 nach DIN 513 mit $\varnothing 68$ plus ROI-Tiefe 6.0 mm => $\varnothing 74$ mm

P_R P 203 ROI 2 $F\varnothing +6.0$

P 203 = Anwendung BDG-Richtlinie P 203

$F\varnothing$ = Funktionsbereich mit Angabe der ROI-Tiefe

P = Symbol für Spezifikation Porosität
R = definierter Teilbereich (ROI)

ROI = Region of Interest
Hier: ROI Nr. 2

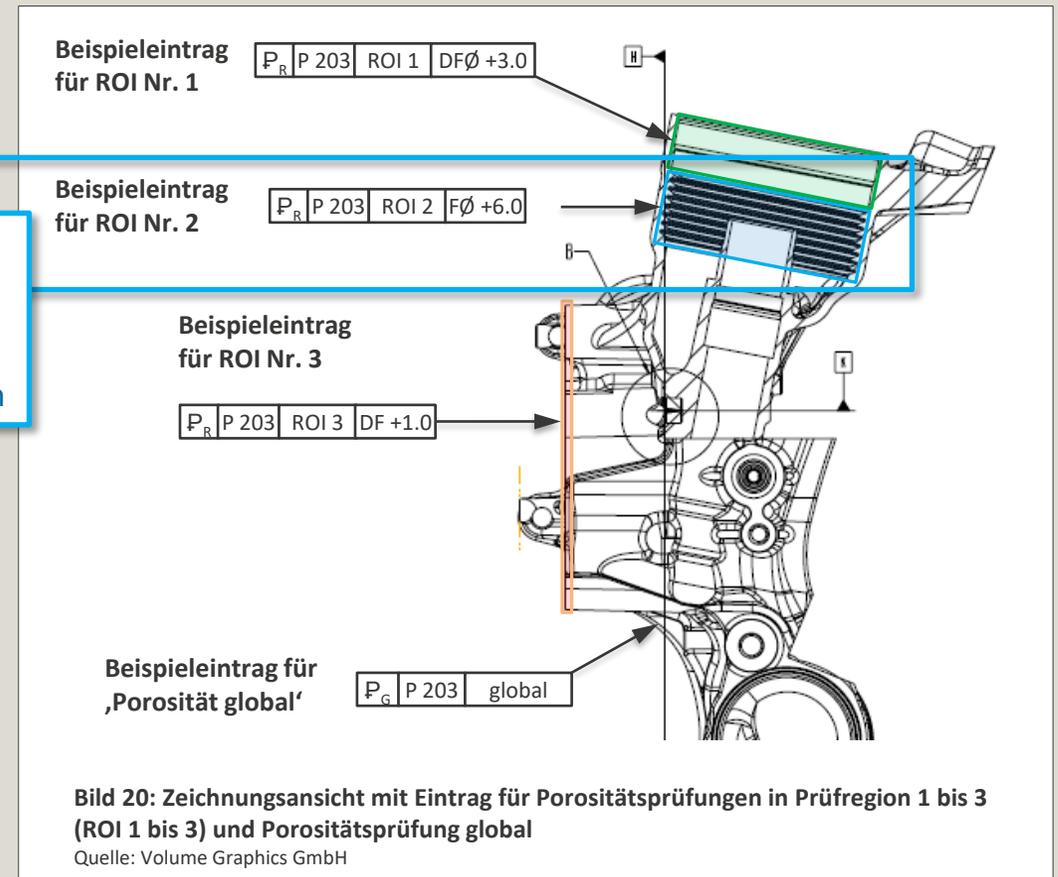


Bild 20: Zeichnungsansicht mit Eintrag für Porositätsprüfungen in Prüfbereich 1 bis 3 (ROI 1 bis 3) und Porositätsprüfung global

Quelle: Volume Graphics GmbH

ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

3. BDG - P 203 Anwendungsbeispiel / Spezifikation Porosität

Porositätsspezifikation erstellen

- > durch den Konstrukteur (Kunde)
- > Porositätsschlüssel nach BDG - P 203 definieren
- > **Beispiel für ROI Nr. 2:**
Funktionsbereich „Gewinde S68x3“ mit FØ +6.0

$P_{ROI} 0.20 / \varnothing_p 2 / \text{Gap } 2 / Z 10 / U\varnothing_p 0.5$

Porositätsschlüssel für ROI Nr. 1
„Dichtfläche Ø69.5“

$P_{ROI} 0.15 / \varnothing_p 0.5 / \text{Gap } 4 / Z 4 / U\varnothing_p 0.3$

Porositätsschlüssel für ROI Nr. 2
„Gewinde S68x3“

$P_{ROI} 0.20 / \varnothing_p 2 / \text{Gap } 2 / Z 10 / U\varnothing_p 0.5$

Porositätsschlüssel für ROI Nr. 3
„Dichtfläche“

$P_{ROI} 0.15 / \varnothing_p 0.5 / \text{Gap } 4 / Z 4 / U\varnothing_p 0.3$

Porositätsschlüssel für
„Porosität global“

$P_G 0.15 / \varnothing_{aq} 4 / \psi 0.4 / d_a 0.5 / U\varnothing_p 0.6$

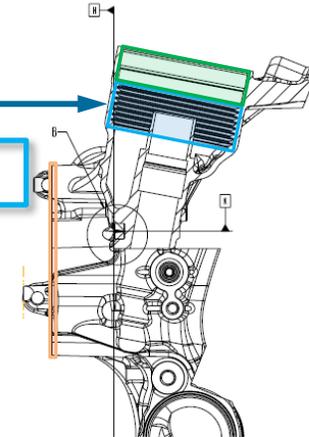


Bild 21: Porositätsschlüssel nach BDG – Richtlinie P 203

Quelle: Volume Graphics GmbH

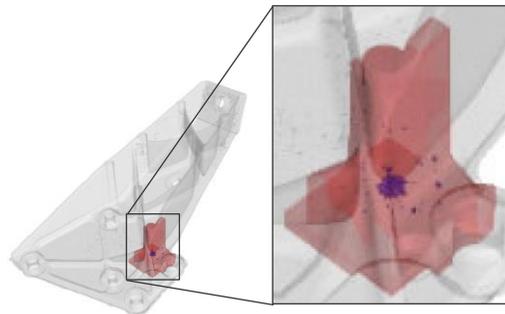
ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

3. BDG - P 203 Anwendungsbeispiel / Spezifikation Porosität

Erläuterung Porositätsschlüssel für **Beispiel ROI 2**

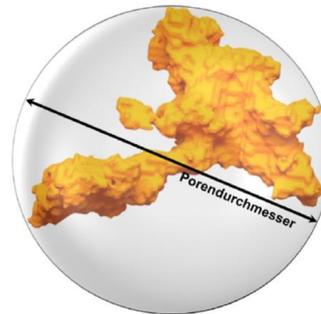
P_{ROI} 0.20 / Øp 2 / Gap 2 / Z 10 / UØp 0.5

P_{ROI} 0.20
Volumenporosität ≤ 0.20 %



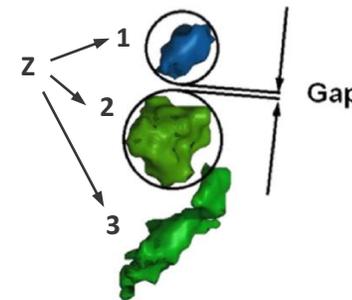
Volumenporosität in frei definierten Teilbereich (ROI)

Øp 2
Poren-Ø ≤ 2.0 mm



Porendurchmesser Øp

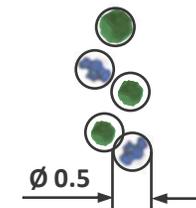
Gap 2
Porenabstand ≥ 2.0 mm



Abstand von Poren ‚Gap‘ und Anzahl Poren Z

Z 10
Anzahl Poren max. 10

UØp 0.5
Unberücksichtigte Poren mit Øp ≤ 0.5 mm



Unberücksichtigte Poren U

Bild 22: Aufschlüsselung Porositätsschlüssel BDG – P203
Quelle: BDG-Richtlinie P 203

ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

3. BDG - P 203 Anwendungsbeispiel / Spezifikation Porosität

Porositätsspezifikation erstellen

- > Porositätsspezifikationen in einer Tabelle zusammenführen
- > In 2D/3D CAD Datensatz übernehmen bzw. in Technischer Zeichnung aufnehmen als Prüfplan „Porositätsprüfung“

| BDG - P 203 | | Halter NA | | | |
|-------------------|--------------|-------------------|----------------|----------------------|---|
| Teilbereich (ROI) | Anzahl (ROI) | Name | Symbol | Funktion + ROI-Tiefe | Porositätsschlüssel |
| Global | 1 | Gussstück global | P _G | --- | P _G 0.15 / Ø _{aq} 4 / ψ 0.4 / da 0.5 / UØ _p 0.6 |
| ROI 1 | 1 | Dichtfläche Ø69.5 | P _R | DFØ +3.0 | P _{ROI} 0.15 / Ø _p 0.5 / Gap 4 / Z 4 / UØ _p 0.3 |
| ROI 2 | 1 | Gewinde S68x3 | P _R | FØ +6.0 | P _{ROI} 0.15 / Ø _p 2 / Gap 2 / Z 10 / UØ _p 0.5 |
| ROI 3 | 1 | Dichtfläche | P _R | DF +1.0 | P _{ROI} 0.15 / Ø _{aq} 0.5 / Gap 4 / Z 4 / UØ _p 0.3 |
| ROI 4.1 bis 4.6 | 6 | Gewinde M8 | P _R | FØ +3.0 | P _{ROI} 0.5 / Ø _p 4 / Gap 2 / Z 4 / UØ _p 0.6 |
| ROI ... | | | | | |

Bild 23: Tabelle der Porositätsschlüssel BDG - P 203 für Beispiel Halter NA
Quelle: Volume Graphics GmbH

ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

Übersicht

1. Industrielle Computertomographie (iCT) für Gießereianwendungen
2. Einfluss der Porosität auf die statische und dynamische Festigkeit von Gussstücken
3. BDG - P 203 Anwendungsbeispiel / Spezifikation Porosität
4. **BDG - P 203 Anwendungsbeispiel / Porositätsanalyse**
5. Statistische Erfassung und Auswertung von Porositätsdaten
6. Diskussion der Ergebnisse
7. Zusammenfassung

ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

4. BDG - P 203 Anwendungsbeispiel / Porositätsanalyse

Anwendung der Porositätsspezifikation
durch die Gießerei (Lieferant)

- > Prüfplan „Porositätsprüfung“ erstellen
- > „Besondere Merkmale“ festlegen
 - Prüfbericht (PPAP, EMPB)
 - Statistische Auswertungen (SPC)
 - Ermittlung Prozessfähigkeit C_p / C_{pK}
 - Fehlerkatalog „Porosität“
- > CT-Anlage / CT-Analysesoftware starten
und Gussstück scannen

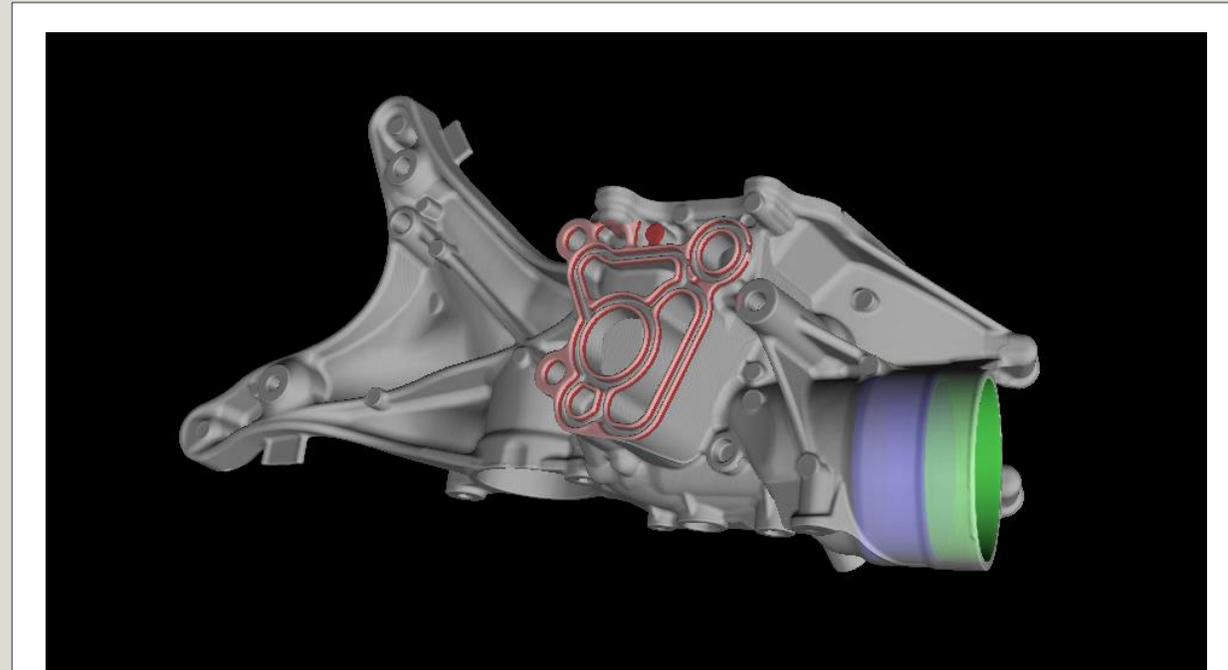


Bild 24: Rohteil Halter NA inkl. importierter und eingefärbter 3D-CAD Daten „Porenspezifikation“

Quelle: Volume Graphics GmbH

ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE



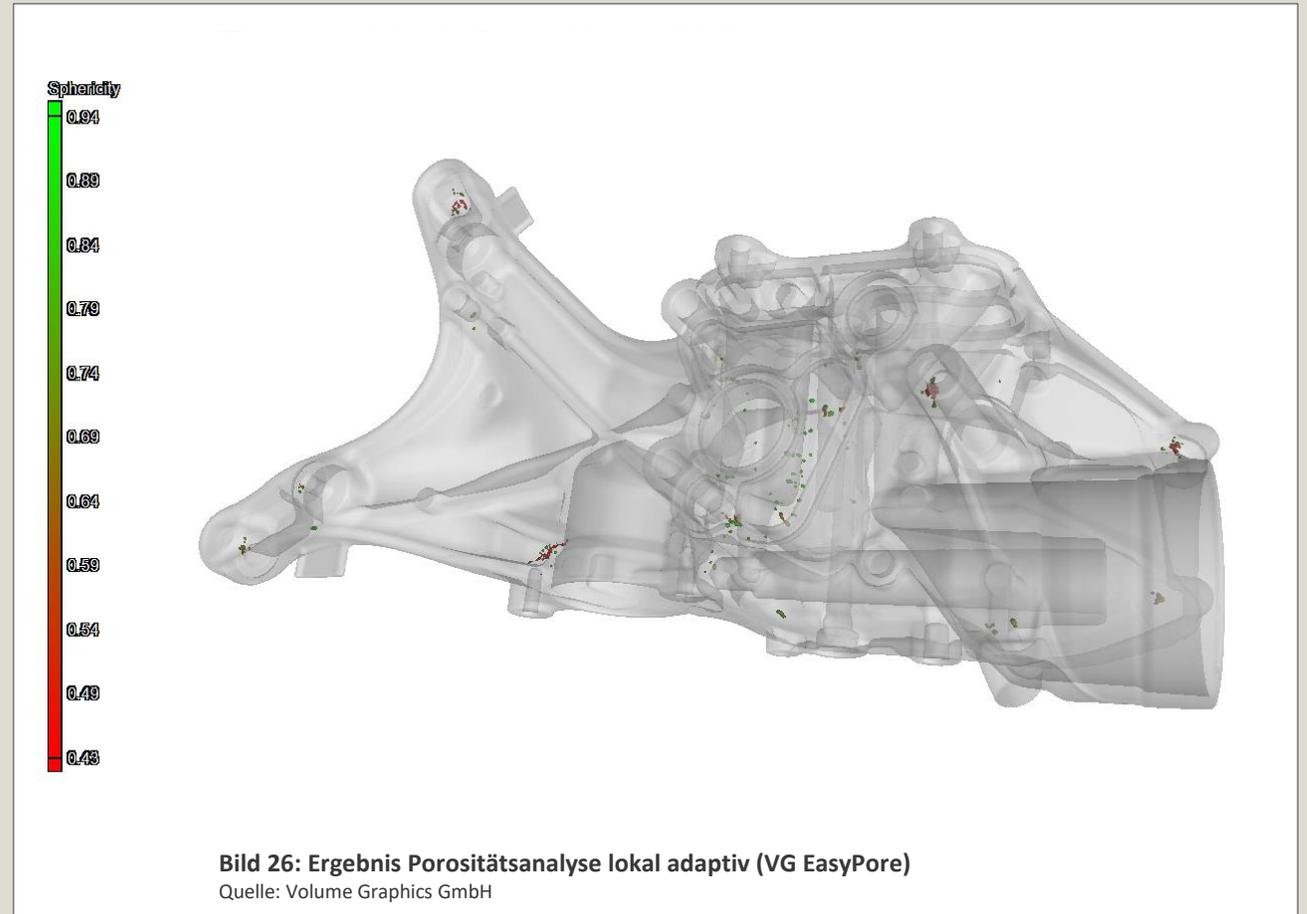
**Bild 25: Animation CT-Scan
und Rekonstruktion Gussstück**
Quelle: Volume Graphics GmbH

ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

4. BDG - P 203 Anwendungsbeispiel / Porositätsanalyse

Durchführung der Porositätsanalyse „lokal adaptiv“

- > Anwendung von Schwellwertalgorithmen mit lokalen Kontrastkriterien
- > Schwellwertsetzung für die Erfassung von Porositäten wird lokal an die Umgebung adaptiert



ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

4. BDG - P 203 Anwendungsbeispiel / Porositätsanalyse

Durchführung der Porositätsanalyse „P 203“

- > Hinzufügen der Porositätsschlüssel nach BDG – Richtlinie P 203
 - über die Eingabemaske „P 203 Schlüssel“
 - gemäß der Angaben zur Porositätsprüfung im Prüfplan
 - Anzeige des Porositätsschlüssels BDG - P 203

- > Tabellarische Anzeige der Ergebnisse aus der Porositätsanalyse inkl. der Porositätsschlüssel nach BDG – Richtlinie P 203

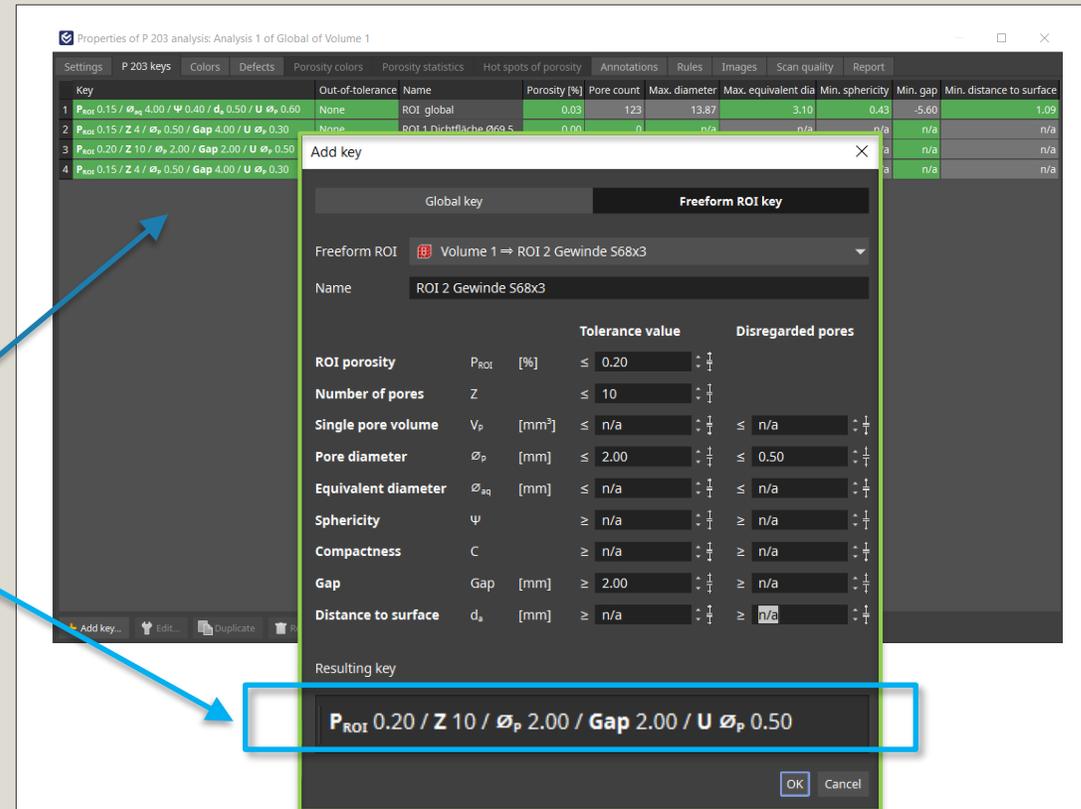


Bild 27: Eingabe Porositätsschlüssel nach BDG – P 203

Quelle: Volume Graphics GmbH

ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

4. BDG - P 203 Anwendungsbeispiel / Porositätsanalyse

> Ergebnisse aus der Porositätsanalyse ...

- ... können für manuelle oder automatisierte OK-/ NOK-Entscheidungen verwendet werden
- ... können für weiterführende Untersuchungen exportiert werden für z.B. ...
- ... strukturmechanische Untersuchungen (FE-Analysen),
- ... Untersuchungen zur Schwingfestigkeit (FAT-Analysen),
- ... statistische Auswertungen / Kennwerte Prozessfähigkeit,
- ... Zerspanungssimulationen,
- ... Vergleich mit Ergebnissen aus Gießsimulationen

> Erstellung Prüfbericht inkl. Listung aller Porositätsschlüssel nach BDG – P 203

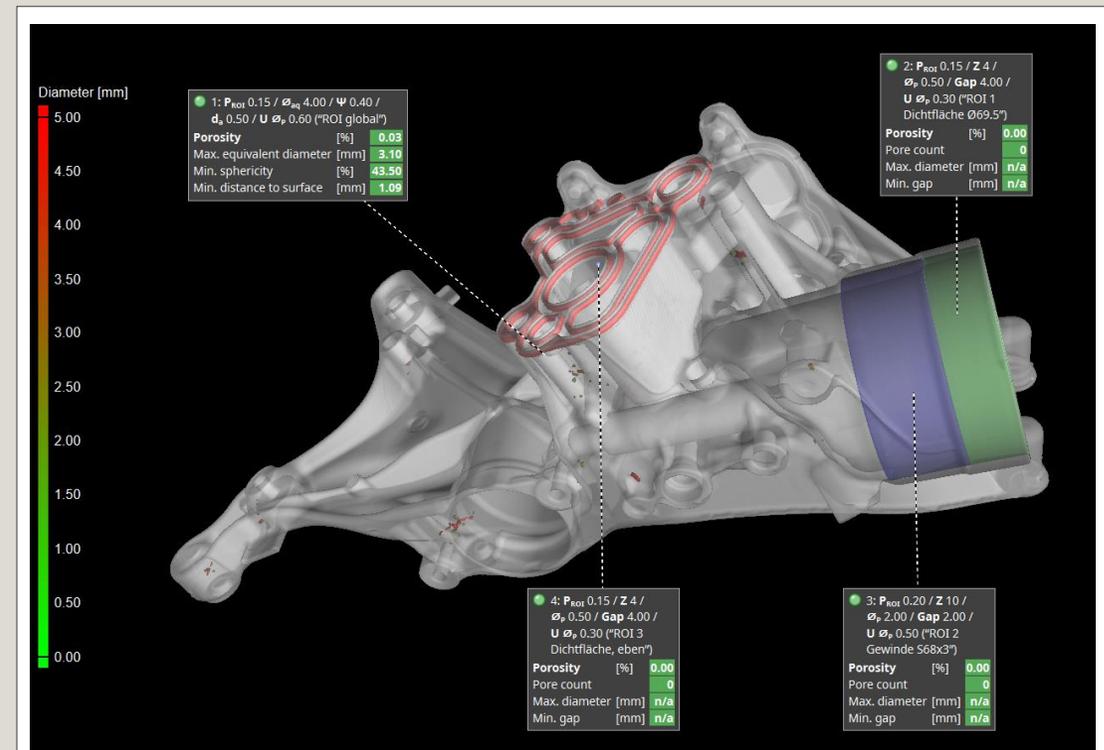


Bild 28: 3D-Ansicht Porositätsanalyse P 203 inkl. Ergebnisanzeige

Quelle: Volume Graphics GmbH

ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

Übersicht

1. Industrielle Computertomographie (iCT) für Gießereianwendungen
2. Einfluss der Porosität auf die statische und dynamische Festigkeit von Gussstücken
3. BDG - P 203 Anwendungsbeispiel / Spezifikation Porosität
4. BDG - P 203 Anwendungsbeispiel / Porositätsanalyse
- 5. Statistische Erfassung und Auswertung von Porositätsdaten**
6. Diskussion der Ergebnisse
7. Zusammenfassung

ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

5. Statistische Erfassung und Auswertung von Porositätsdaten

> Ergebnisse aus der Porositätsanalyse können für statistische Auswertungen exportiert werden

- Auswertung fertigungsrelevanter Qualitätsinformationen
- Gussstück-Statistiken
- Rückverfolgbarkeit
- Trendverläufe / Eingriffsgrenzen
- Durchführung von Analysen zur Prozessfähigkeit C_p/C_{pk} zu einzelnen Prüfmerkmalen

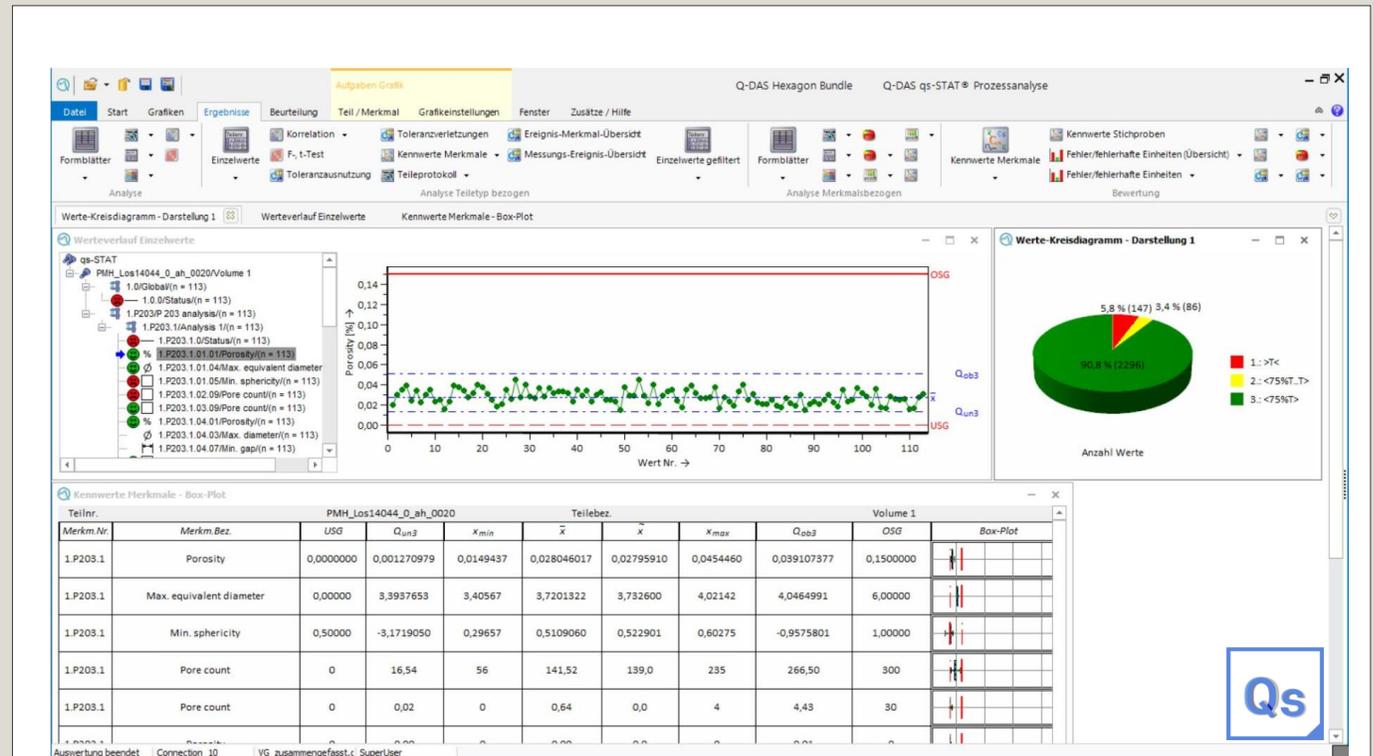


Bild 29: Statistische Erfassung und Auswertung von Prüfmerkmalen aus einer Porositätsanalyse

Quelle: Q-DAS GmbH / HEXAGON

ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

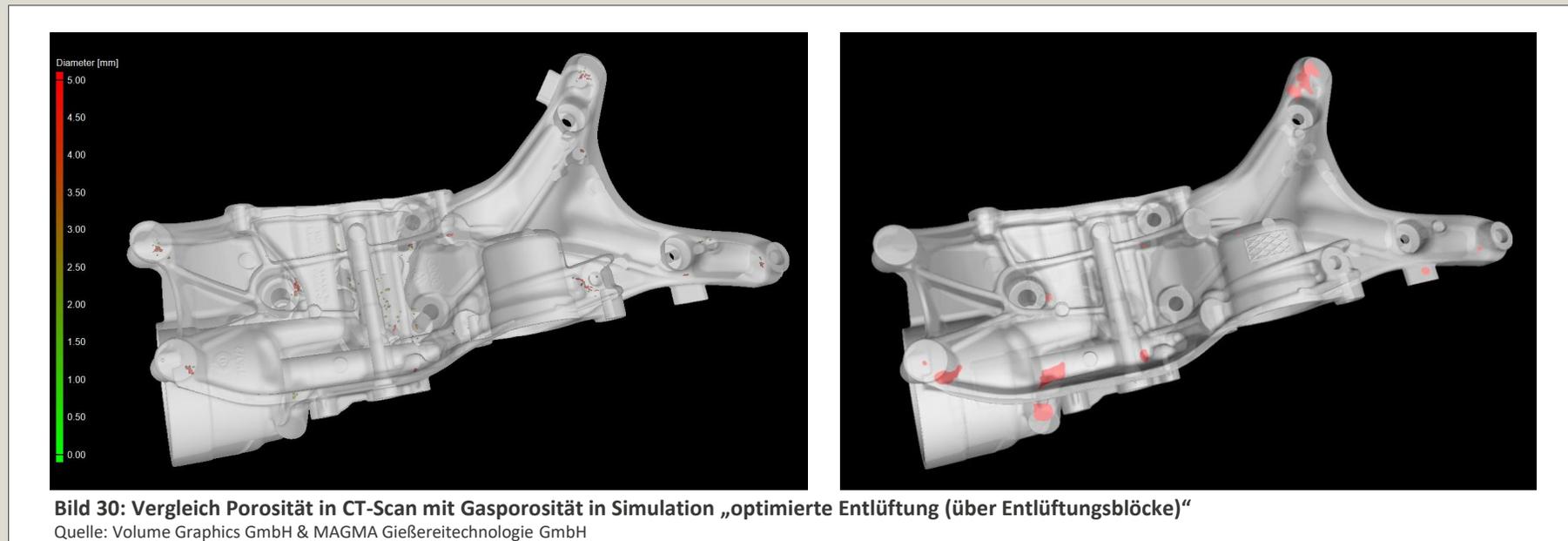
Übersicht

1. Industrielle Computertomographie (iCT) für Gießereianwendungen
2. Einfluss der Porosität auf die statische und dynamische Festigkeit von Gussstücken
3. BDG - P 203 Anwendungsbeispiel / Spezifikation Porosität
4. BDG - P 203 Anwendungsbeispiel / Porositätsanalyse
5. Statistische Erfassung und Auswertung von Porositätsdaten
- 6. Diskussion der Ergebnisse**
7. Zusammenfassung

ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

6. Diskussion der Ergebnisse

Vergleich CT-Scan „Real-Gussstück“ und Gussstück aus Formfüll- und Erstarrungssimulation



ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

6. Diskussion der Ergebnisse

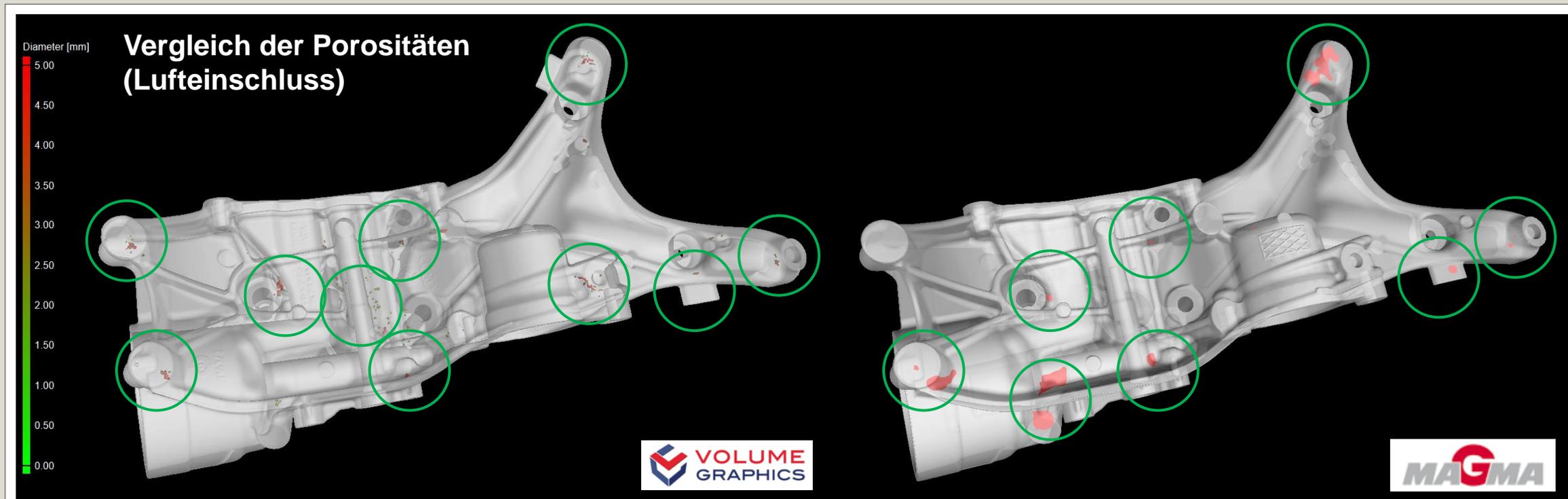
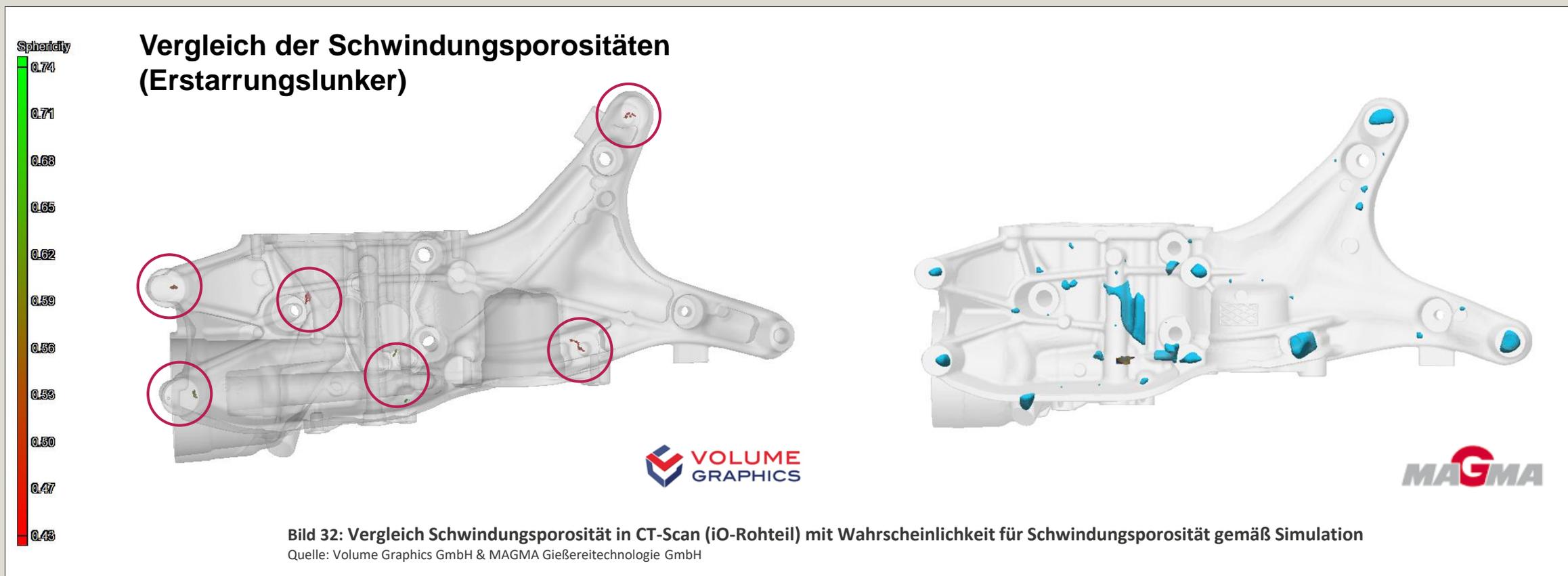


Bild 31: Vergleich Porosität in CT-Scan (iO-Rohrteil) mit Gasporosität in Simulation „optimierte Entlüftung (über Entlüftungsblöcke)“

Quelle: Volume Graphics GmbH & MAGMA Gießereitechnologie GmbH

ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

6. Diskussion der Ergebnisse



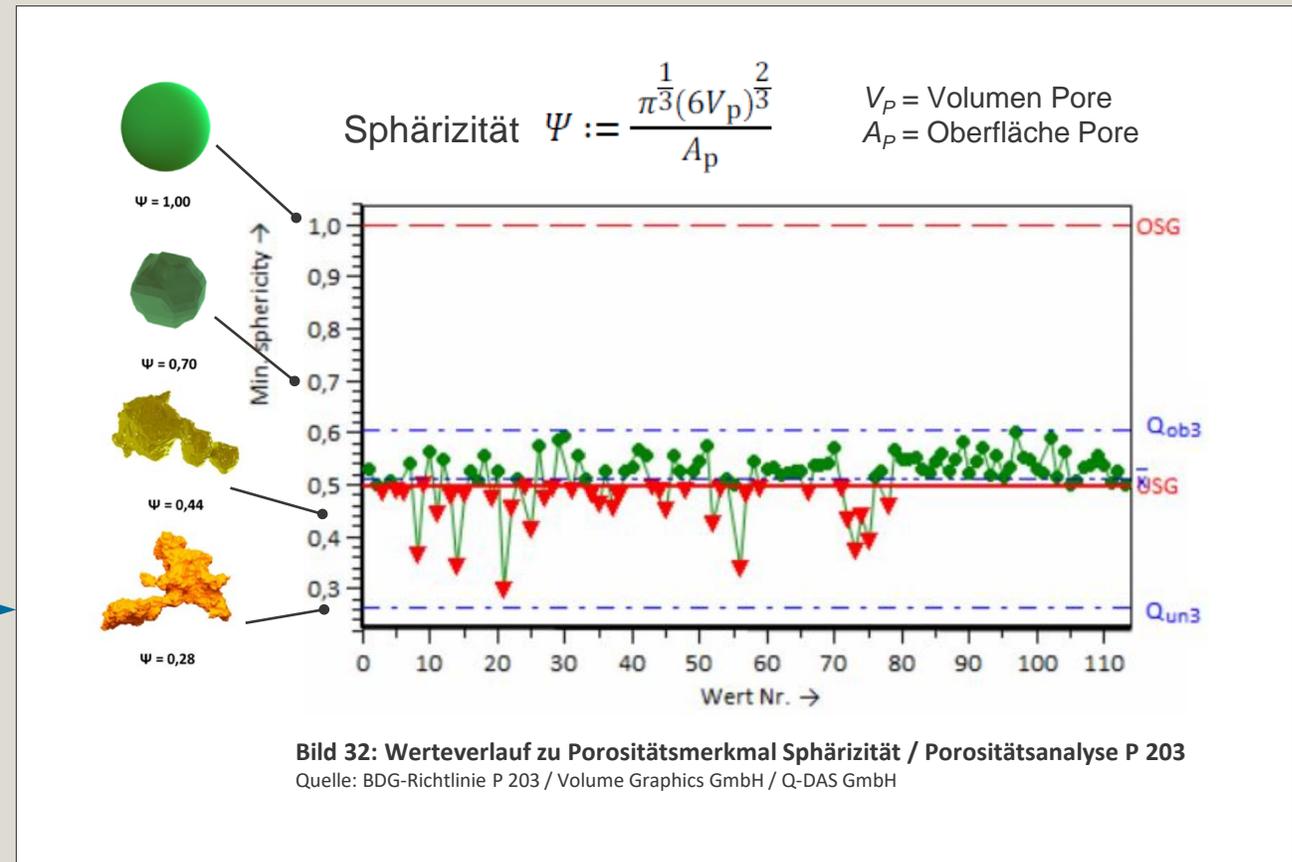
ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

6. Diskussion der Ergebnisse

> Die 3D-Charakterisierung von Porositäten mittels CT ermöglicht Rückschlüsse auf gießtechnische Probleme

> 3D Porenparameter / -kennwerte

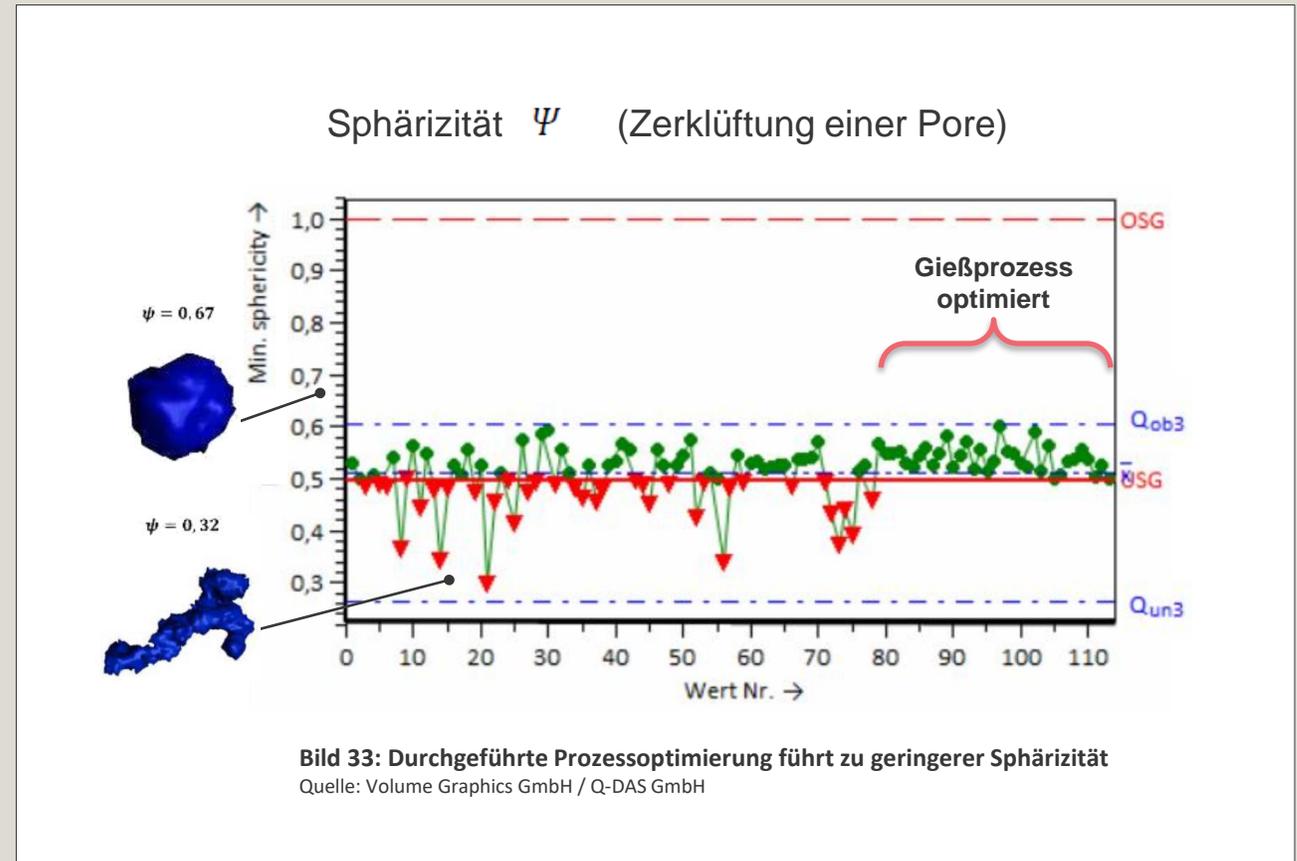
- Volumenporosität P_{3D} [%]
- Einzelporenvolumen V_p [mm³]
- Porendurchmesser \varnothing_p [mm]
- Äquivalenzdurchmesser \varnothing_{aq} [mm]
- **Sphärizität** ψ [-]
- Kompaktheit C [-]
- Porenabstand Gap [mm]
- Abstand zur Oberfläche d_a [mm]
- Anzahl Poren Z



ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

6. Diskussion der Ergebnisse

- > Die 3D-Charakterisierung von Porositäten mittels CT ermöglicht Rückschlüsse auf gießtechnische Probleme
- > **Ausgangsbasis für Prozessoptimierungen**



ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

Übersicht

1. Industrielle Computertomographie (iCT) für Gießereianwendungen
2. Einfluss der Porosität auf die statische und dynamische Festigkeit von Gussstücken
3. BDG - P 203 Anwendungsbeispiel / Spezifikation Porosität
4. BDG - P 203 Anwendungsbeispiel / Porositätsanalyse
5. Statistische Erfassung und Auswertung von Porositätsdaten
6. Diskussion der Ergebnisse
7. **Zusammenfassung**

ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

7. Zusammenfassung

- > Trend in Leichtmetallgießereien
 - Zunehmende Automatisierung in Produktion und Qualitätssicherung
 - Die 3D-Computertomographie ergänzt immer mehr die 2D-Röntgentechnologie

- > Industrielle 3D-CT-Inspektionen ermöglichen ...
 - ... schnelle und zerstörungsfreie Prüfung von Gussstücken
 - ... genaue Lokalisierung und Quantifizierung von Porositäten
 - ... dreidimensionale Erfassung und Beschreibung von Volumendefiziten
 - ... automatische Vermessung von Gussstückgeometrien
 - ... dezidierte IO- und NIO-Entscheidungen
 - ... und vieles mehr

ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

7. Zusammenfassung

- > BDG - Richtlinie P 203 beschreibt ...
 - ... Prüfverfahren zur 3D-Ermittlung und Bewertung von Volumendefiziten
 - ... eröffnet neue Ansätze zur Qualitätsüberwachung mittels iCT in der Gießerei

- > Porositätsschlüssel nach BDG - Richtlinie P 203 ...
 - ... vereinfachen die Beschreibung der Porositätsparameter (Spezifikation der Porosität)
 - ... sind integrierbar in 2D- und 3D-CAD
 - ... ermöglichen transparente Prüfvorschriften für Lieferanten und Kunden

ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

7. Zusammenfassung

- > Industrielle CT plus Anwendung der BDG – Richtlinie P 203 in einer Leichtmetall-Gießerei ...
 - ... ermöglicht die Erfassung und Beschreibung der realen 3D-Porenmorphologie in Gussstücken
 - ... ermöglicht Klassifizierung der Porositäten => Einfluss auf Festigkeiten von Gussstücken

- > Mit der Aufzeichnung und statistischen Auswertung von Porositätsparametern ...
 - ... können neben der SPC auch Prozessfähigkeiten ermittelt und überwacht werden
 - ... können Trendanalysen erstellt und für Gießprozessoptimierungen herangezogen werden, bevor Ausschuss produziert wird
 - ... können Kontrollgrenzen definiert und Warnungen und Alarme ausgegeben werden

- > Der Anstoß von automatischen oder halbautomatischen Gießprozessoptimierungen ist denkbar

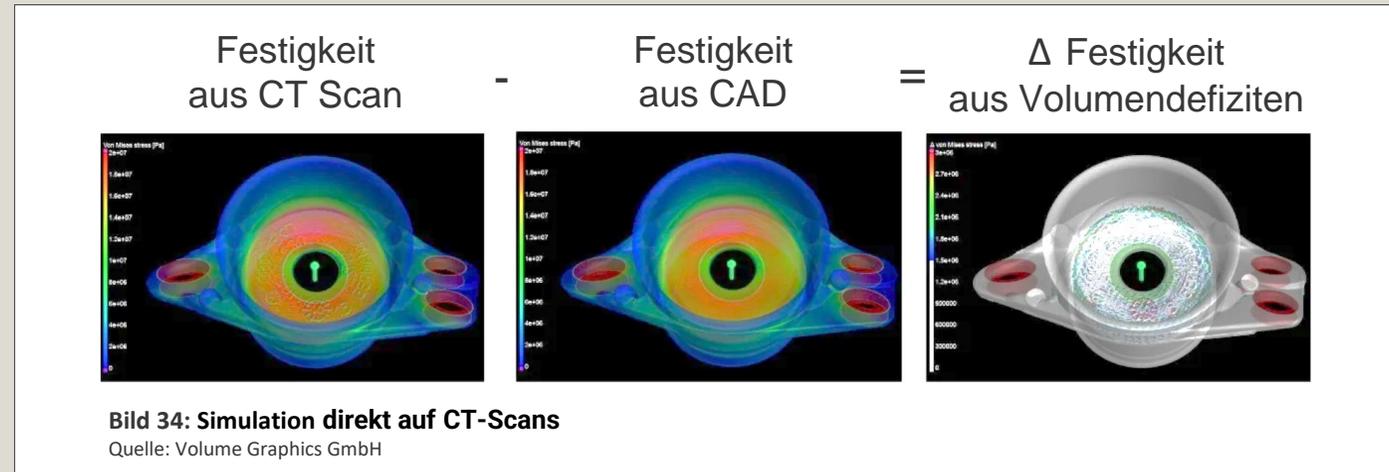
ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

7. Zusammenfassung

- > Künstliche Intelligenz & Machine Learning Funktionen in CT-Systemen und CT-Software ...
 - ... werden die Automatisierung der Auswertung von Volumendefiziten in Gussteilen weiter voranbringen

Ausblick

- > In Verbindung mit den Werkstoffeigenschaften von Gusslegierungen können aus einer 3D-Porositätsanalyse, zusammen mit den quantitativen Analyseergebnissen, auch qualitative Bewertungen abgeleitet werden



ZERSTÖRUNGSFREIE GUSSSTÜCKPRÜFUNG MIT HILFE DER COMPUTER TOMOGRAFIE

Glück auf!

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:   

