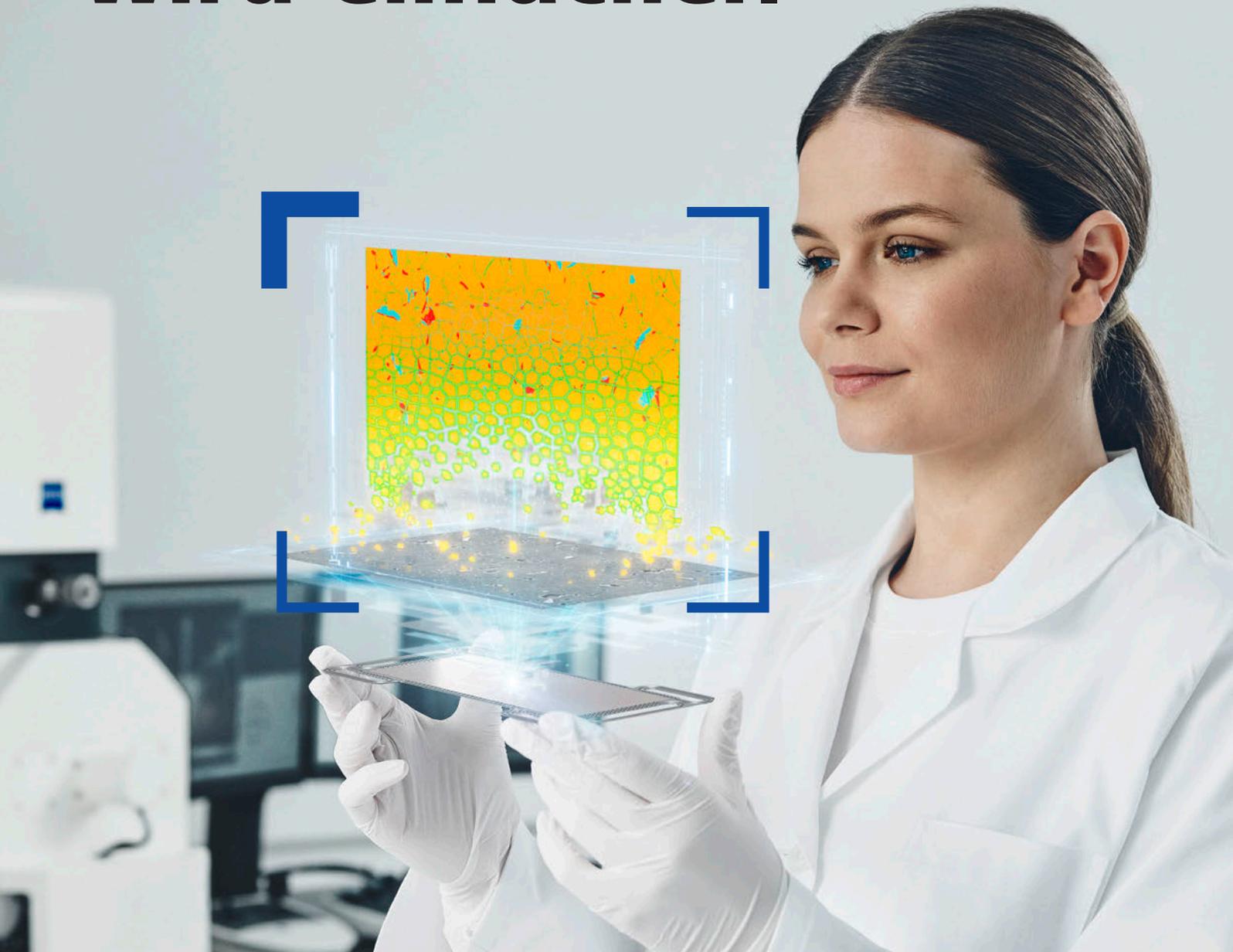


Materialien werden komplexer. Analysieren wird einfacher.

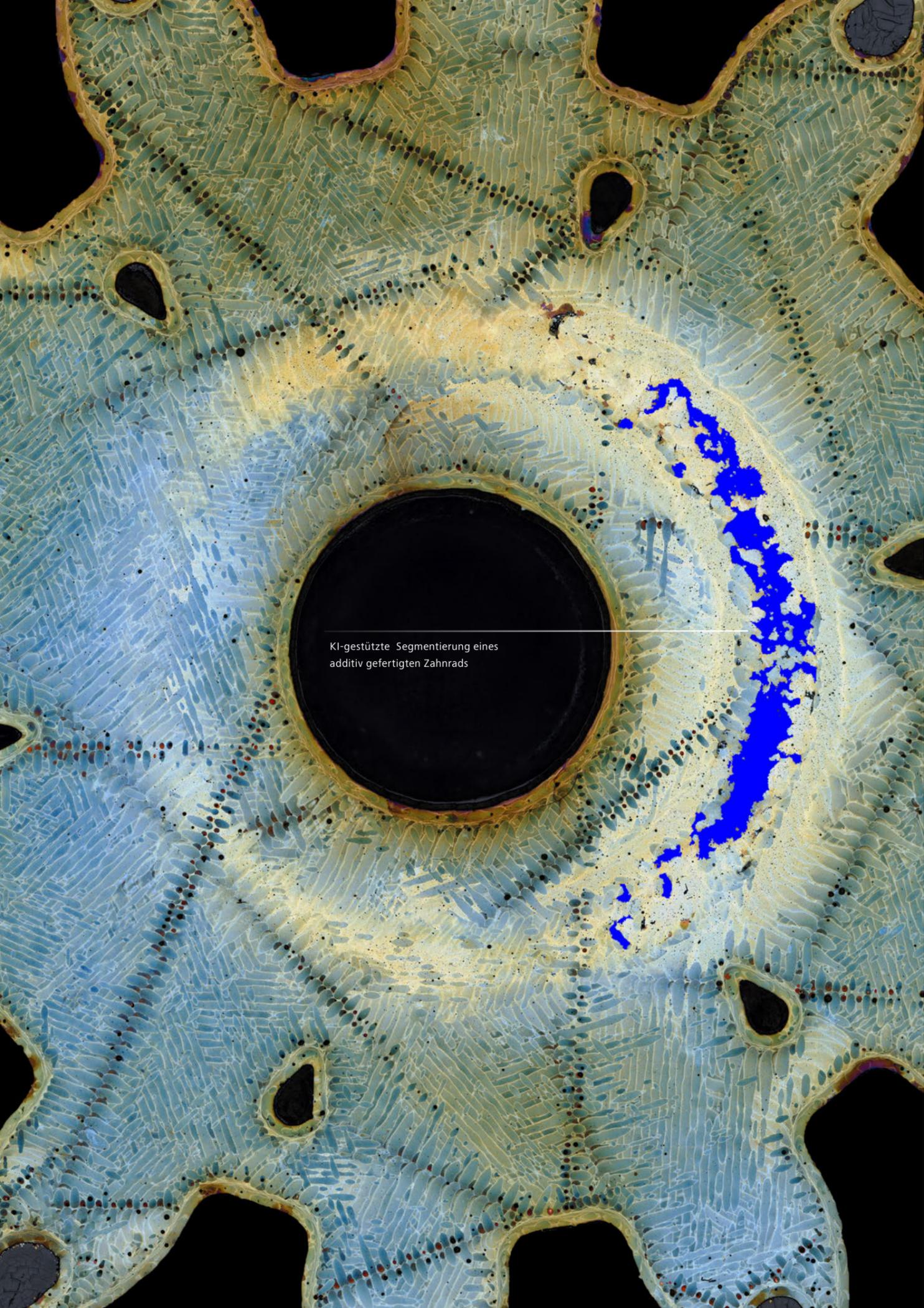


ZEISS Materialographie-Lösungen



zeiss.com

Seeing beyond



KI-gestützte Segmentierung eines additiv gefertigten Zahnrads

Komplexität beherrschen

Mit Mikroskopie-Lösungen von ZEISS

Die Aufgaben in der Materialographie wandeln sich stetig, und die Leistungsanforderungen steigen. Bauteile werden immer komplexer, Beschichtungen immer dünner. Die Miniaturisierung in der Elektronik schreitet voran. Neue Verbundmaterialien finden insbesondere im Leichtbau Verwendung. Nachhaltige Materialien und additiv gefertigte Bauteile stellen besondere Herausforderungen an die Materialcharakterisierung. Zugleich sinken allgemein die Fehlertoleranzen, wodurch präzisere Analysen erforderlich werden.

Labore zur Werkstoffprüfung müssen mit diesen Entwicklungen Schritt halten. Dabei stehen sie unter einem wachsenden Zeitdruck. ZEISS bietet Materialographen eine einzigartige Tiefe an Mikroskopen, Software und Services, um die gestellten Prüfungsaufgaben effektiv zu lösen. Darüber hinaus machen es ZEISS Mikroskopie-Lösungen allen Nutzern besonders einfach, denn dank Deep-Learning-Algorithmen sind Ergebnisse verlässlicher, genauer und schneller verfügbar als jemals zuvor.

Werkstoffprüfung im Wandel

Verbundmaterialien

Verbundmaterialien nehmen weiter zu, insbesondere im Leichtbau. Die Grenzflächen zwischen den verbundenen Materialien sind häufig kritische Bereiche. Daher müssen diese besonders sorgfältig geprüft werden.

Nachhaltige Werkstoffe

Aus Gründen der Nachhaltigkeit werden beispielsweise vermehrt Metalle recycelt oder bedenkliche Materialien durch Alternativen ersetzt. Die Materialographie trägt dazu bei, die Funktionalität nachhaltiger Werkstoffe sicherzustellen.

Spezifische Metalle und Legierungen

Der immer differenziertere Einsatz spezieller Metalle oder Legierungen ermöglicht es, für jedes Bauteil den optimalen Kompromiss zwischen Festigkeit und Gewicht zu finden. Die Materialographie hat in diesem Zusammenhang die Aufgabe, die charakteristischen Eigenschaften spezifischer Werkstoffe zu untersuchen.

Miniaturisierte Leiterbahnen

Die Miniaturisierung in der Elektronik schreitet weiter voran. Mit den passenden hochauflösenden

Mikroskopen können die immer feineren Strukturen schnell und zuverlässig geprüft werden.

Additive Fertigung

Mit den neuen Möglichkeiten der additiven Fertigung gehen auch neue typische Bauteilfehler einher. ZEISS Mikroskopie-Lösungen helfen Materialographen dabei, 3D-Druck-Materialien zu prüfen, Defekte in additiv gefertigten Bauteilen zu untersuchen und Defekt-Ursachen zu ermitteln.

Fehlerfrei und effizient mikroskopieren

Von der Probe zum Ergebnis

In der Materialographie sind aussagekräftige Mikroskopie-Ergebnisse nur dann gewährleistet, wenn auch die Prozessschritte davor fehlerfrei ausgeführt wurden. ZEISS stellt passende Mikroskope bereit, um den gesamten Analyse-

Prozess verlässlich und effizient zu gestalten: von der Probenentnahme und -Präparation über die Bildaufnahme bis hin zur Bildverarbeitung und -Auswertung.

Mikroskopieprozess



Probe zuschneiden



Probe fixieren



Schleifen / Polieren



Ätzen



Mikroskopieren (Aufnahme, Bildverarbeitung und Auswertung)

Mikroskope beispielhaft



Stemi 508

Stereomikroskop mit 8:1 Zoom

Auflösung: 1 μm



Axioscope 5

Teilmotorisiertes Lichtmikroskop

Auflösung: 0,7 μm



Axio Imager 2

Mikroskopsystem für automatisierte Materialanalyse

Auflösung: 250 nm



EVO

Rasterelektronenmikroskop zur hochauflösenden Abbildung und Elementcharakterisierung

Auflösung: 2 nm



CrystalCT

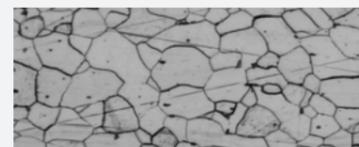
Röntgenmikroskop für zerstörungsfreies 3D-Imaging

3D-Auflösung: 40 nm

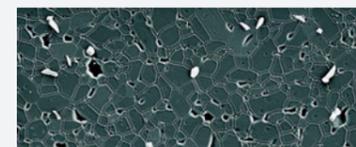
Das wird sichtbar



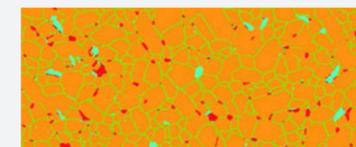
Metalloberfläche bei 24-facher Vergrößerung



Das Hellfeld-Kontrastbild zeigt u. a. Kratzer, Flecken, Verformungen und Risse in einer Lochzugprobe



Dunkelfeld-Kontrastbild einer Forsterit-Beschichtung



Automatische Bildsegmentierung mit ZEISS ZEN core



3D-Darstellung der Kristallstruktur von Titan



Polarisations-Kontrastbild zur Prüfung des Ätzprozesses

Exemplarisches Mikroskopie-Komplettprogramm für das Materiallabor

01 | Lichtmikroskopie



Überprüfung der Probe

Stereomikroskope
ZEISS Stemi 305/508

Wiederholte Probenanalysen, Topografie

Automatisiertes Digitalmikroskop
ZEISS Smartzoom 5

Routineaufgaben im Materiallabor

Auflichtmikroskop
ZEISS Axioscope

Große und schwere Proben

Inverses Mikroskop
ZEISS Axiovert 5/7

Große Probenfelder, Topografie

Stereo-Zoom-Mikroskop
ZEISS Axio Zoom.V16

Automatisierte Materialanalyse

Vollmotorisiertes Mikroskopsystem
ZEISS Axio Imager Z2m

02 Rasterelektronenmikroskopie (REM)



Modulare Elektronenmikroskopie
Rasterelektronenmikroskop
ZEISS EVO Produktfamilie



Hochqualitatives Imaging
Feldemissions-Rasterelektronenmikroskop
ZEISS Sigma Produktfamilie

03 Röntgenmikroskopie



Zerstörungsfreies 3D-Röntgenimaging
Hochauflösendes Röntgenmikroskop
ZEISS CrystalCT

04 Weitere ZEISS Prüftechnik zur Materialanalyse

Zerstörungsfreie 3D-Qualitätsprüfung
Industrieller Computertomograph
ZEISS METROTOM Produktfamilie



**Optische 3D-Messung von Dehnung,
Verformung und Verschiebung
(z.B. Zugversuch)**
3D-Kamera-Messsystem ZEISS ARAMIS



Ihr Kontrollzentrum für alle Aufgaben

Die Software ZEISS ZEN core

ZEISS ZEN core ist die einheitliche Lösung für Bildgebung, Segmentierung, Analyse und Datenkonnektivität in Ihrem Materiallabor oder Unternehmen. Weil sich die Benutzeroberfläche entsprechend der Aufgabenstellung konfigurieren lässt, können auch unerfahrene Nutzer die Software einfach und sicher bedienen. Händisch aufwendige Arbeitsschritte wie die Segmentierung erledigt ZEN core dank Deep-Learning größtenteils automatisch. Die einfache Korrelation von Licht-, Digital- und Elektronenmikroskopie ermöglicht ein tieferes Verständnis bei der Mikrostruktur- und Schadensanalyse. Mehrere Laborstandorte können über ZEISS ZEN core miteinander vernetzt werden.



Mit ZEISS ZEN core können verschiedene Mikroskoptypen und Laborstandorte miteinander vernetzt werden

Verschiedene Mikroskope – eine korrelierte Auswertung

In vielen Anwendungsfällen ist es sinnvoll, dieselbe Probe sowohl mit einem Licht- als auch mit einem Elektronenmikroskop zu untersuchen. Die unterschiedlichen Vergrößerungsstufen und Kontraste liefern zusammen ein tieferes Verständnis über den Probenzustand. Mit ZEISS ZEN Connect überlagern Sie multimodale Bilddaten effizient zusammen und wechseln dadurch schnell von der Gesamtübersicht zur hochauflösenden Detaildarstellung. Alle Bilddaten, auch die von Drittanbietern, lassen sich mit ZEISS ZEN Connect komfortabel ausrichten, überlagern und im Kontext darstellen.

Mit ZEISS ZEN Connect lassen sich schneller mehr Informationen gewinnen, für mehr Sicherheit bei der Gefüge-Bewertung.



ZEN core Werkzeugpakete

ZEISS ZEN core ist modular aufgebaut und individuell mit den Werkzeugen erweiterbar, die Sie benötigen. Unter anderem bietet ZEISS diese ergänzenden Toolkits:

Material Apps

Werkzeuge für Korngrößenanalysen, Gusseisenanalysen, Mehrphasenanalysen, Richtreihen-Vergleiche und Schichtdickenmessungen

KI Toolkit

KI-Anwendungspaket zur Segmentierung, Objektklassifizierung und Bildentrauschung, einschließlich Trainingschnittstellen

2D Toolkit Bildanalyse

2D-Bildanalyse mittels automatischer Messprogramme, einschließlich erweiterter Verarbeitung

Developer Toolkit

Programmieren von kundenspezifischen Makros in der Programmiersprache Python, Ansteuern von ZEISS ZEN core über eine API-Schnittstelle

Data Storage

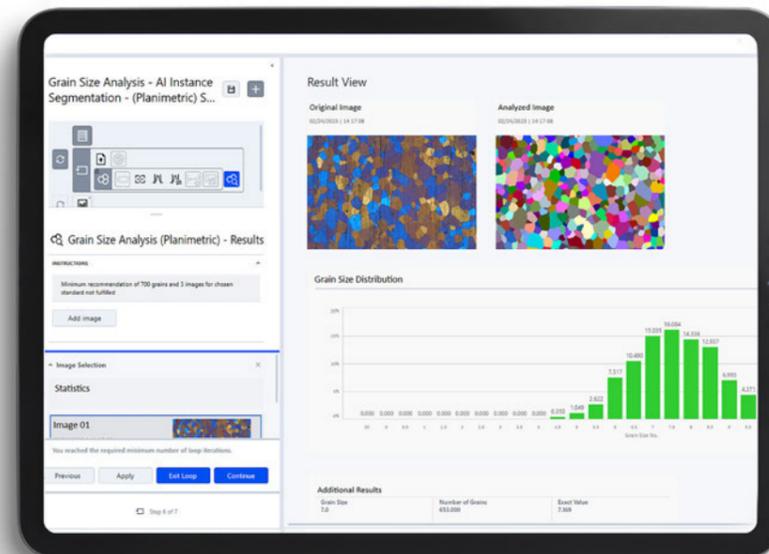
Zentrale SQL-basierte Bilddatenbank für intelligentes Datenmanagement mit integrierter Benutzer- und Zugriffsverwaltung

Connect Toolkit

Mit ZEISS ZEN Connect können Sie multimodale Bilddaten unterschiedlicher Mikroskoptypen korrelieren, überlagern und im Kontext darstellen.

Schneller und genauer prüfen mittels Deep Learning

ZEISS ZEN core stellt eine automatisierte Bildanalyse, für die Partikel- und Phasenanalyse bereit. Deep-Learning-Methoden reduzieren bei diesen Anwendungen deutlich den Arbeitsaufwand und funktionieren nutzerunabhängig und reproduzierbar, immer nach denselben trainierten Mustern.

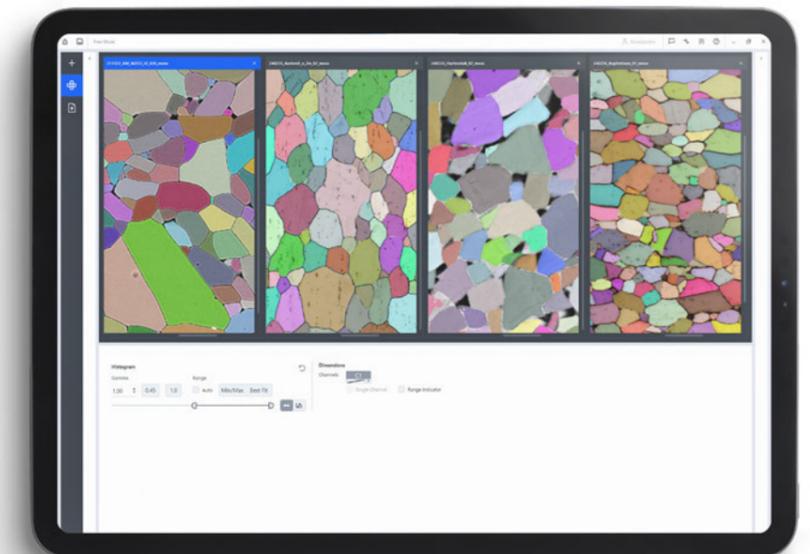


Die Mikroskopaufnahme einer Aluminiumlegierung (l.) wird mittels Deep Learning automatisch segmentiert (r.). Der Algorithmus identifiziert verlässlich einzelne Körner. Berührende und sich überlappende Objekte können getrennt werden (Instanz-Segmentierung).

Neueste Deep-Learning-Modelle – lokal oder in der Cloud

Passend zur jeweiligen Mikrostruktur der Analyse-Aufgabe ermöglicht ZEISS ZEN core die Segmentierung über klassisches maschinelles Lernen oder über neueste Deep-Learning-Technologien. Das Training der Deep-Learning-Modelle kann entweder lokal in ZEISS ZEN core oder in der gesicherten ZEISS Cloud-Umgebung erfolgen.

Möglich ist sowohl die semantische pixelbasierte Segmentierung, bei der jedes Pixel einer Klasse zugeordnet wird, als auch die objektbasierte Instanz-Segmentierung, bei der einzelne Objekte erkannt und Klassen zugeordnet werden.



Automatische KI-gestützte Bestimmung der Korngrenzen einer Keramik-, einer Austernit-, einer Hartmetall- und einer Kupferprobe. Bei diesem Beispiel genügt es, ein Deep-Learning-Modell zu trainieren, um die Korngrenzen aller vier Materialien sicher zu erkennen.

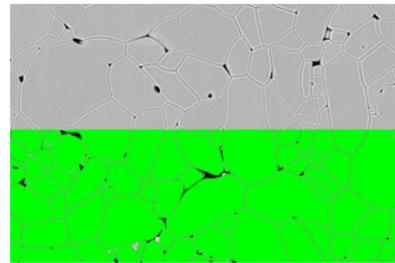
Materialcharakterisierung mit ZEISS ZEN core

Einfach normgerecht auswerten

Anwendung

Korngrößen

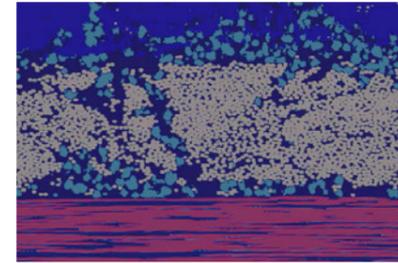
Korngrößenverteilung



Technische Keramik, Medizintechnik

Multiphasen

Phasenanteilsbestimmung



Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff, Luft- und Raumfahrt

Bild, Auswertung

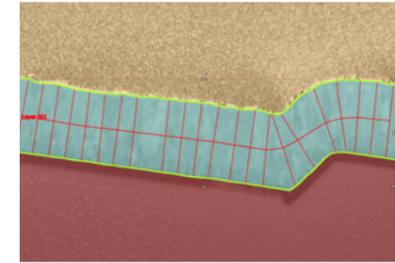
Erläuterung

Quantifizieren Sie die kristallographische Struktur Ihrer Materialien gemäß internationalen Normen.

Mit diesem Modul können Sie Phasen sowohl nach ihrer Größe als auch nach dem Prozentsatz der jeweiligen Fläche bestimmen. Ein wichtiger Anwendungsfall ist die Untersuchung der Porosität.

Schichtdicken

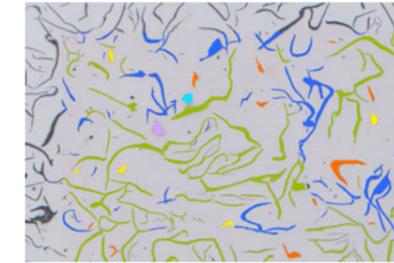
Automatische Kantenerkennung



Solarzelle, Erneuerbare Energien

Gusseisen

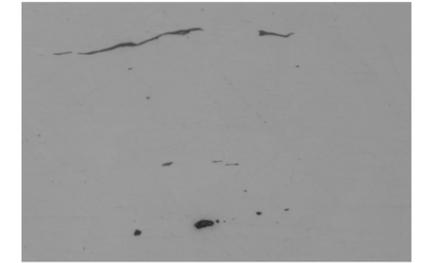
Größe, Form und Verteilung von Graphitpartikeln



Grauguss, Anlagentechnik

Nichtmetallische Einschlüsse

Menge und Größe von Oxiden, Sulfiden, Nitriden und anderen Einschlüssen

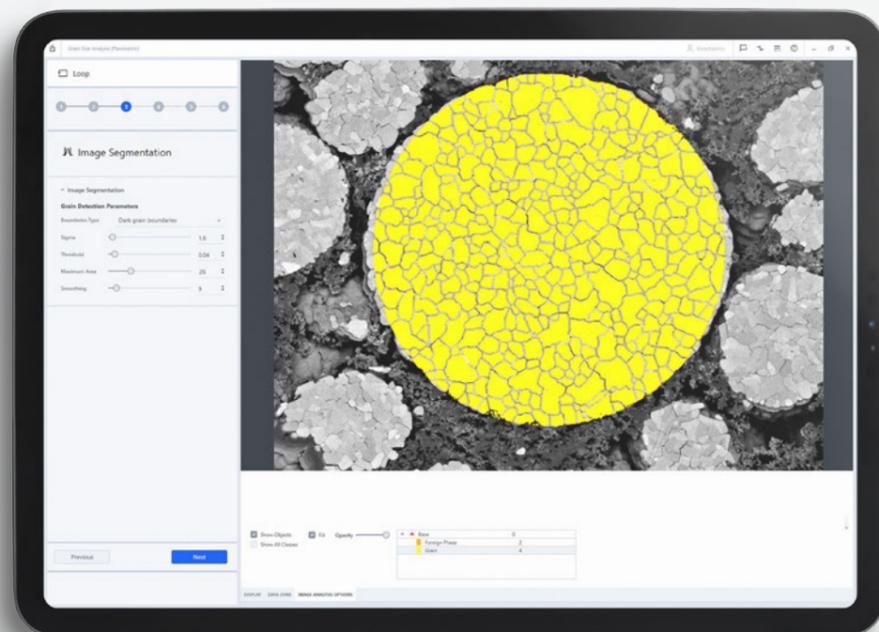


Stahl, Anlagentechnik

Messen Sie die Dicke von Beschichtungen oder die Tiefe von gehärteten Oberflächen im Querschnitt einer Probe. Bewerten Sie komplexe Schichtsysteme entweder automatisch oder interaktiv.

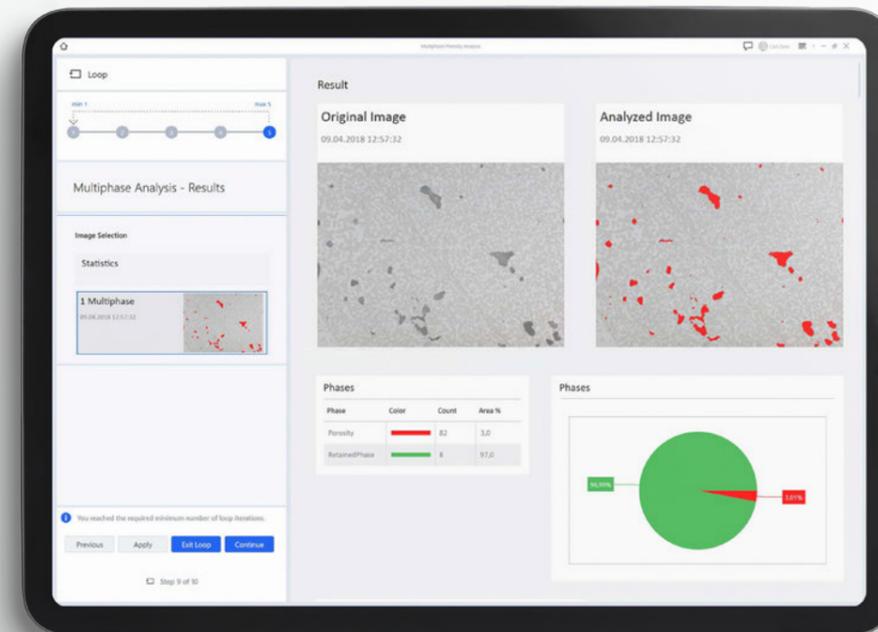
Analysieren Sie vollautomatisch die Form und Größe von Graphitpartikeln in Gusseisen und bestimmen Sie den flächenmäßigen Anteil der Graphitpartikel.

Mit diesem Modul können Sie nichtmetallische Einschlüsse in Stahl untersuchen, um die Stahlreinheit zu beurteilen. Die auf Normen basierende automatisierte Workflow-Lösung umfasst die Probenaufnahme, die Einschlussklassifizierung und Einschlussbewertung sowie die Ergebnis-Dokumentation und -Archivierung.



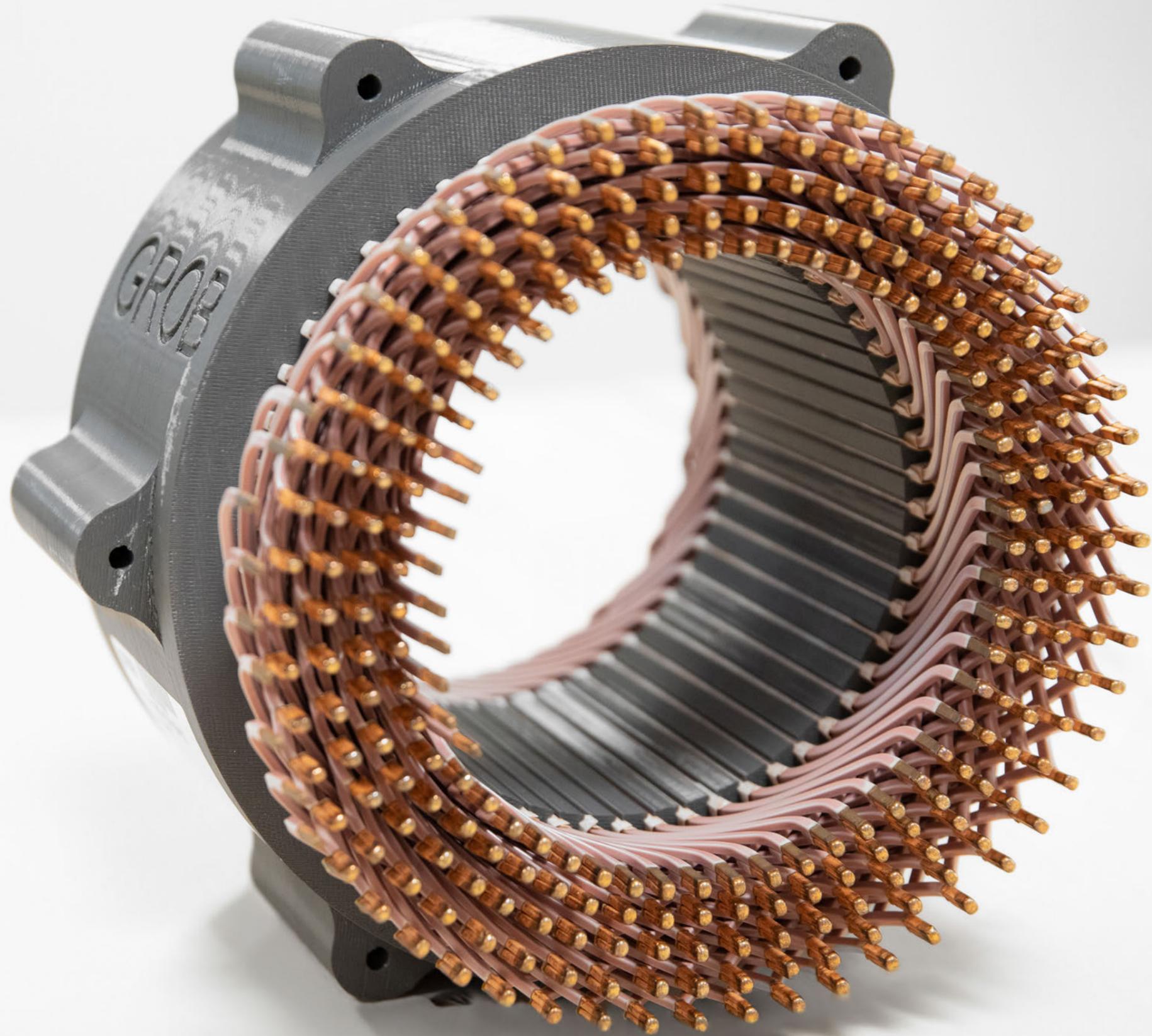
Beispiel Batterietechnik: Korngrößenanalyse an NCM-Kathodenpartikeln

Die nur marginal sichtbaren Korngrenzen von NCM-Kathodenpartikeln können mit einem ZEISS Elektronenmikroskop mit Inlense-EsB-Detektor aufgedeckt werden. Ein mittels Deep Learning trainierter Algorithmus segmentiert daraufhin automatisch und zuverlässig die Mikroskopaufnahme. Mit dem so analysierten Bild lässt sich beispielsweise die Korngrößenverteilung bestimmen.



Beispiel: Multiphasenanalyse an einer thermischen Spritzschicht

Thermische Spritzschichten verbessern unter anderem die Widerstandsfähigkeit des Trägermaterials gegenüber Korrosion, Wärme oder Verschleiß. Mittels der Multiphasenanalyse kann die Porosität einer metallographisch präparierten Probe einfach bestimmt werden. Die ermittelte Porosität erlaubt Rückschlüsse auf die Struktur und Härte der Spritzschicht.



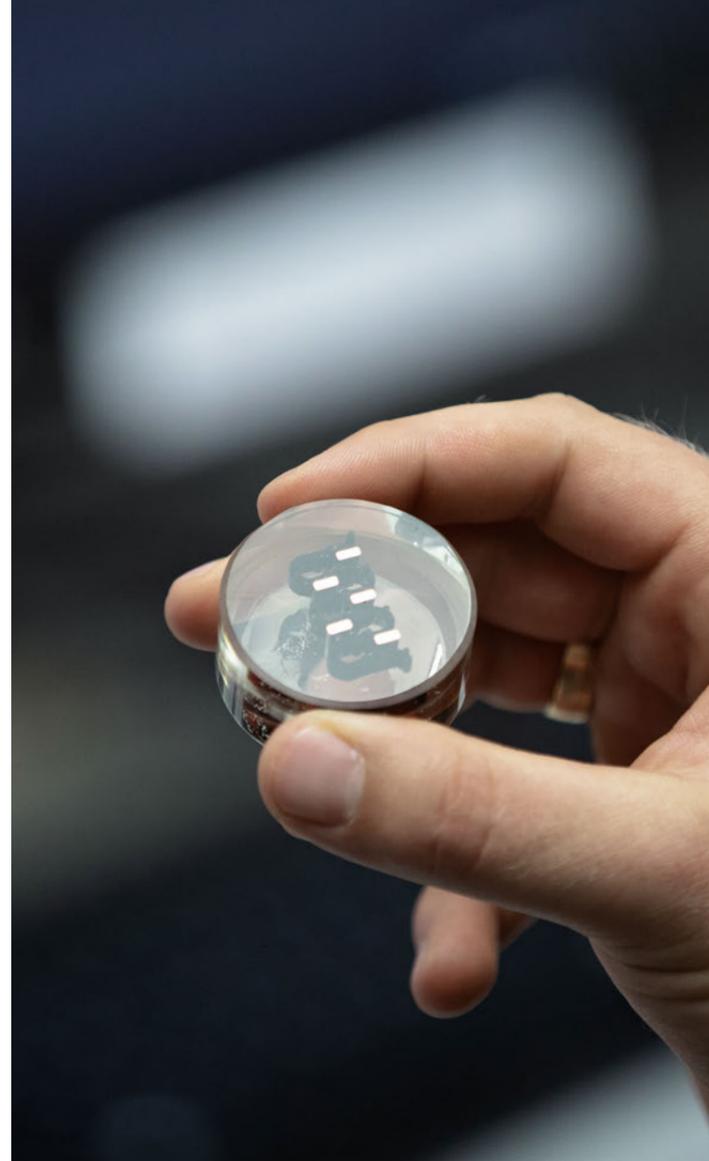
Anwendungsbeispiel GROB
**Umfassende Qualitätsprüfung bei
Statorfertigung im
Hairpin-Verfahren**

Statoren für E-Auto-Traktionsmotoren werden heute zunehmend im sogenannten Hairpin-Verfahren produziert. Vorteile gegenüber dem Standard-Wickelverfahren liegen in der Kompaktheit der Hairpin-Statoren und in der besseren Automatisierbarkeit der Fertigung. GROB ist ein führender Hersteller von Produktionssystemen für Hairpin-Statoren. Um die Qualität dieser Systeme sicherzustellen, nutzt das deutsche Familienunternehmen verschiedene Prüf- und Messsysteme von ZEISS.

ZEISS Axio Imager Z2m



Mikroskopische Prüfaufgaben	Eingangsprüfung Kupferdraht, Qualitätsprüfung der Schweißpunkte
Vorteile	Deckt eine große Bandbreite von Aufgaben in der Qualitätssicherung perfekt ab



Probe zur Wareneingangsprüfung



Prüfung der Schweißpunkte

Vorteile und Herausforderungen der Hairpin-Technologie

Die Hairpin-Technologie ist auf dem Vormarsch in der Automobilindustrie, denn im Vergleich zu mit Runddraht gewickelten Statorn, benötigen Hairpin-Statorn weniger Platz und weisen einen höheren Füllfaktor auf, was auch der Leistungsentwicklung des E-Motors zugutekommt. Vor allem aber lässt sich die Fertigung von Hairpin-Statorn stärker automatisieren und damit wirtschaftlicher gestalten. Die größte Herausforderung des Verfahrens ist die Gewährleistung der Prozesssicherheit. Biegestellen und Schweißpunkte sind im System die anfälligsten Fehlerstellen und haben in der Qualitätssicherung daher einen besonderen Stellenwert.

Prozessschritte der Hairpin-Technologie

Bei Hairpin-Statorn ist die Spule aus U-förmigen Drahtelementen aufgebaut. Deren Form erinnert an eine Haar-

nadel, englisch Hairpin, daher der Name der Technologie. Zur Herstellung der Hairpins wird Kupferflachdraht mit speziellen Biegeanlagen in eine dreidimensionale Geometrie umgeformt. Bis zu 16 verschiedene Geometrien können in einem Stator verbaut sein. Im nächsten Schritt werden die zu einem Hairpinkorb vormontierten Steckspulen in ein Blechpaket eingeführt und schließlich die benachbarten Hairpin-Enden verschweißt sowie mit anderen elektrischen Bauteilen kontaktiert, meist mittels eines Laserschweißverfahrens.

Mikroskopie von ZEISS

Der Maschinenbauer GROB nutzt ein ZEISS Axio Imager Z2m Mikroskop, um die Qualität seiner Fertigungssysteme sicherzustellen. Zum einen wird das Mikroskop zur Eingangsprüfung des Kupferflachdrahts verwendet. Das Biegeverhalten des Drahts hängt vor allem von dessen Materialeigenschaften ab. Ein Materialfehler kann dazu führen, dass Maße nicht einge-

halten werden, Schweißpunkte falsch gesetzt werden und in der Folge der Stator ausfällt. Mit dem ZEISS Axio Imager Z2m überprüft GROB die Maßhaltigkeit des Kupferdrahts und misst die Dicke der isolierenden Lackschicht.

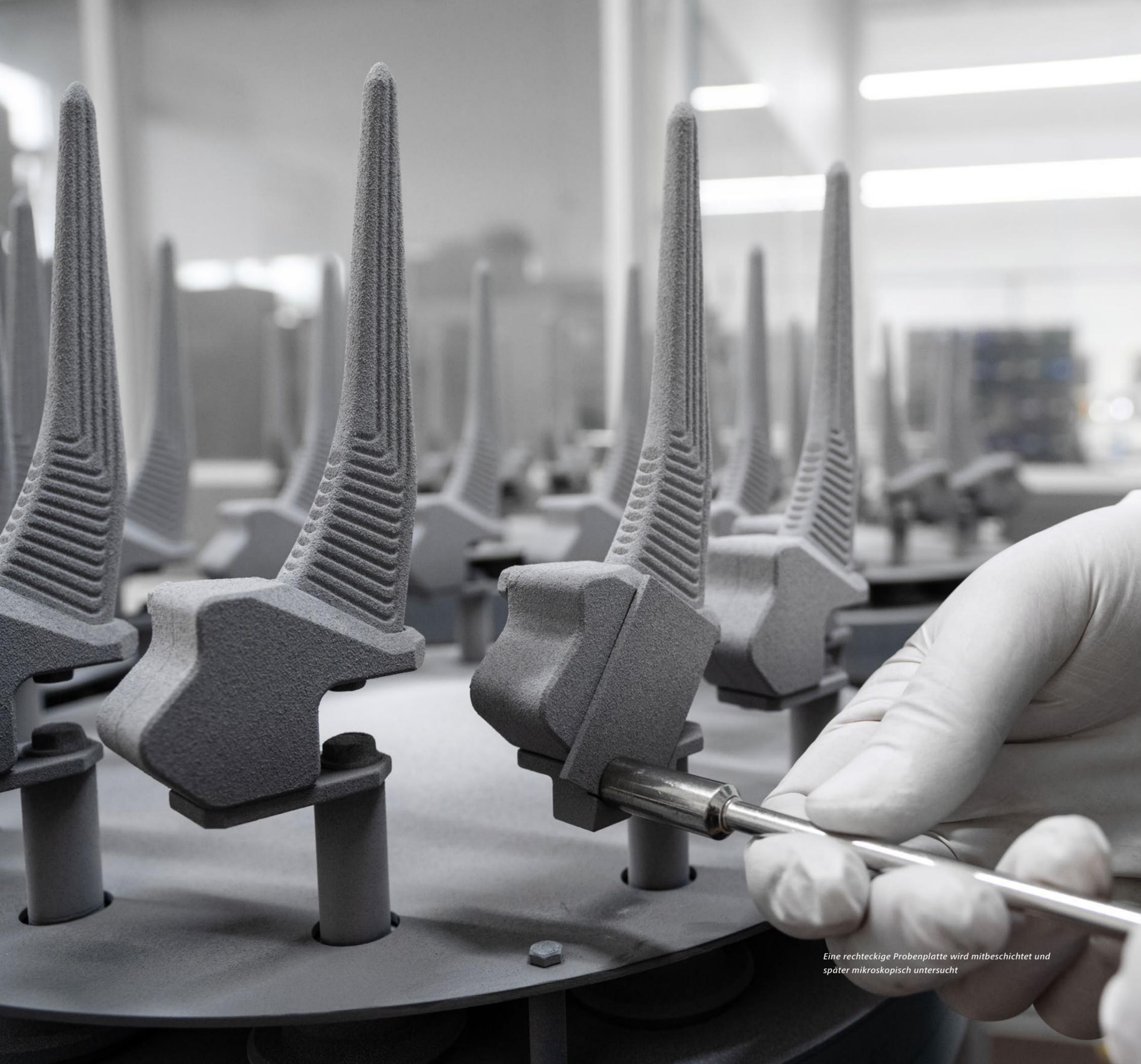
Nach dem Verschweißen der Hairpins und anderer Komponenten werden die Schweißpunkte stichprobenhaft geprüft. Dazu nutzt GROB ebenfalls das ZEISS Axio Imager Z2m. Die Schweißpunkte sind kritische Punkte der Konstruktion. Ein einziger fehlerhafter Kontakt beeinträchtigt die Funktion des gesamten Stators und kann zu einem Ausfall führen.

Weitere Mess- und Prüftechnik von ZEISS

ZEISS Mess- und Prüftechnik ist bei GROB an vielen Stellen in der Qualitätssicherung im Einsatz. Neben dem Axio Imager Z2m gehören ein ZEISS PRISMO verity Koordinatenmessgerät und eine ZEISS ATOS ScanBox zur Laborausstattung. Das

Biegeergebnis der Hairpins wird optisch mit dem KMG ZEISS PRISMO verity geprüft. Die Schweißnähte des montierten Stators kontrolliert GROB ebenfalls mit der ZEISS PRISMO verity, diesmal aber mit einem taktilen Sensor. Der abschließende Schritt in der Qualitätsprüfung ist ein optischer Komplettskan des fertigen Stators in der ZEISS ATOS ScanBox.

GROB profitiert von der Kombination verschiedener ZEISS Prüfsysteme. Die einheitliche und einfache ZEISS Bedienphilosophie reduziert den Schulungsaufwand und beschleunigt die Arbeit an den verschiedenen Systemen. Mit der geräteübergreifenden ZEISS Berichterstattung lassen sich die Teilergebnisse einfach zu einem schlüssigen Bericht zusammenfügen. Und bei Qualitätsproblemen steht mit ZEISS ein übergreifender Ansprechpartner zur Verfügung, der hinsichtlich der verwendeten Prüftechnologien neutral beraten kann und gesamtheitlich Verantwortung übernimmt.



*Eine rechteckige Probenplatte wird mitbeschichtet und
später mikroskopisch untersucht*

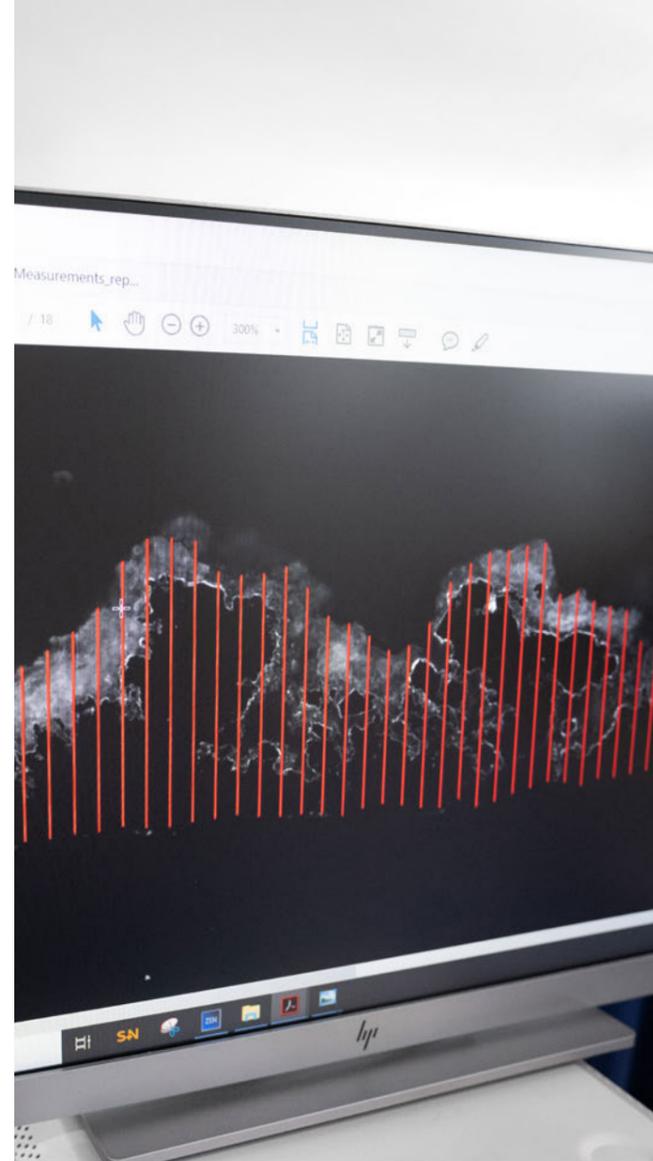
Anwendungsbeispiel
Smith & Nephew
**Vollautomatische,
KI-gestützte Prüfung
von Implantat-
Beschichtungen**

Am Standort Aarau in der Schweiz fertigt das Medizintechnikunternehmen Smith & Nephew künstliche Hüft- und Kniegelenke. Die Implantate ermöglichen Patienten, sich wieder schmerzfrei bewegen zu können. Wie gut sie im Knochen einwachsen, hängt auch von ihrer Beschichtung ab. Um die Qualität der Beschichtung sicherzustellen, nutzt Smith & Nephew Mikroskopiertechnik von ZEISS.

ZEISS Axio Imager Z2m



Mikroskopische Prüfaufgaben	Dicke, Porosität, mittlere Porenlänge, Gewebegrenzfläche und Rauheit der Titan- und Hydroxylapatit-Beschichtung
Vorteile	Reproduzierbarkeit, Genauigkeit, 85 Prozent Zeitersparnis



ZEISS ZEN core setzt vollautomatisch 343 vertikale Linien und berechnet daraus die Schichtdicke



In der Vakuumkammer werden die Prothesen bei einer Temperatur von bis zu 20.000 Grad Celsius beschichtet

Der Einsatz künstlicher Hüft- und Kniegelenke ist eine Erfolgsgeschichte der modernen Medizin. Die Prognose der häufig durchgeführten Operationen ist in der Regel sehr gut und verspricht eine deutliche Linderung von Schmerzen und eine Verbesserung der Bewegungsfunktionen. Patienten gewinnen mit den implantierten Gelenken nicht nur ihre Mobilität zurück, sondern auch ein großes Stück Lebensqualität.

Prothesenfertigung mit Schweizer Präzision

Mit einem Umsatz von über 5 Milliarden USD gehört Smith & Nephew zu den führenden Medizintechnikunternehmen weltweit. Hüft- und Knieimplantate sind Teil des Orthopädie-Segments des global tätigen Konzerns. Am Schweizer Standort Aarau werden sie nach höchsten Qualitätsmaßstäben hergestellt.

Auf die Beschichtung kommt es an

Ein wichtiger Schritt im Fertigungsprozess ist die Beschichtung der Gelenk-Rohlinge mit Lagen aus Titan und Hydroxylapatit – einer Knochenersatzsubstanz. Die Beschichtung sorgt für ein gutes Einwachsen des Implantats und verlängert seine Haltbarkeit. Aufgebracht wird sie mittels Vacuum Plasma Spraying (VPS) in hochmodernen Vakuumkammern bei Temperaturen von bis zu 20.000 Grad Celsius. Von der Qualität der Beschichtung hängt ab, wie stabil sich die Verbindung zwischen Knochen und Implantat ausbildet. Um die Einhaltung der Toleranzvorgaben zu prüfen, verwendet Smith & Nephew unter anderem ein ZEISS Axio Imager Z2m Mikroskop.

Zeit sparen und die Qualität steigern

Mit dem ZEISS Axio Imager Z2m und der Mikroskopie-Software ZEISS ZEN core werden viele Qualitätsparameter der

Beschichtung ermittelt: die Schichtdicke, die Porosität, die mittlere Porenlänge, die Gewebegrenzfläche und die Rauheit – und das besonders schnell, effizient und zuverlässig dank künstlicher Intelligenz. Zur Bestimmung der Schichtdicke wurden am Standort Aarau früher 50 vertikale Linien händisch in das Mikroskopbild eingezogen, die ermittelten Längenwerte in eine Excel-Tabelle übertragen und dann ausgewertet. Mit der Software ZEISS ZEN core geschieht die Schichtdickenbestimmung jetzt vollautomatisch und zugleich genauer. Statt 50 Linien setzt die künstliche Intelligenz 343 Linien und liefert ohne Zutun des Bedieners das Ergebnis. Wo das händische Verfahren nahezu eine Stunde beanspruchte, liegt das Ergebnis mit ZEISS ZEN core jetzt bereits in rund 6 Minuten vor – eine Zeitersparnis von 90 %. Weil Bedieneinflüsse ausgeschlossen sind, ist dieses Ergebnis darüber hinaus viel besser reproduzierbar.

Porosität routinemäßig nach Norm

Die händische Ermittlung der Porosität ist sehr aufwendig und kam daher in Aarau bisher nur in Einzelfällen zur Anwendung. Mit dem ZEISS Axio Imager Z2m und ZEISS ZEN core gehört die Porosität nun zu den Parametern, die routinemäßig erfasst werden. Ein Deep-Learning-Algorithmus setzt dazu horizontale Linien in die Leerräume und ermittelt daraus die Porosität gemäß der Norm ASTM F1854. Nach Bedarf könnte auch eine Auswertung nach FDA 21 CFR Part 11 implementiert werden.

Benutzerfreundliches Deep Learning

Das Trainieren der Deep-Learning-Algorithmen wird nach Bedarf von ZEISS übernommen. Mit ZEISS arivis Cloud steht darüber hinaus eine Lösung bereit, um selbst Modelle für die Bildsegmentierung zu trainieren – und das sehr benutzerfreundlich und ohne Programmierkenntnisse.



Weshalb kam es zu dem Riss in der Ritzelwelle? Das SPC Werkstofflabor hat die Schadensursache mit ZEISS Mikroskopielösungen ermittelt

Anwendungsbeispiel SPC Werkstofflabor **Schadensanalysen an Stahlbauteilen**

Fehler beim Gießen oder Umformen von Stahl können zu Korrosion, Porosität, Rissen oder zum Bruch führen. Die Folgekosten solcher Mängel sind häufig immens. Das SPC Werkstofflabor in Baden-Württemberg betreibt Ursachenforschung bei beschädigten Stahlprodukten. Die Materialforscher von SPC nutzen dazu ein Digitalmikroskop, ein Lichtmikroskop und ein Elektronenmikroskop von ZEISS sowie die Mikroskopiesoftware ZEISS ZEN core.

ZEISS Smartzoom 5



Mikroskopische Prüfaufgaben	Eingrenzung und grobe Bestimmung der Schadensursache
Vorteile	Schnelle Ergebnisse dank automatisierter Funktionen und smarter Benutzerführung

ZEISS Axio Imager Z2m

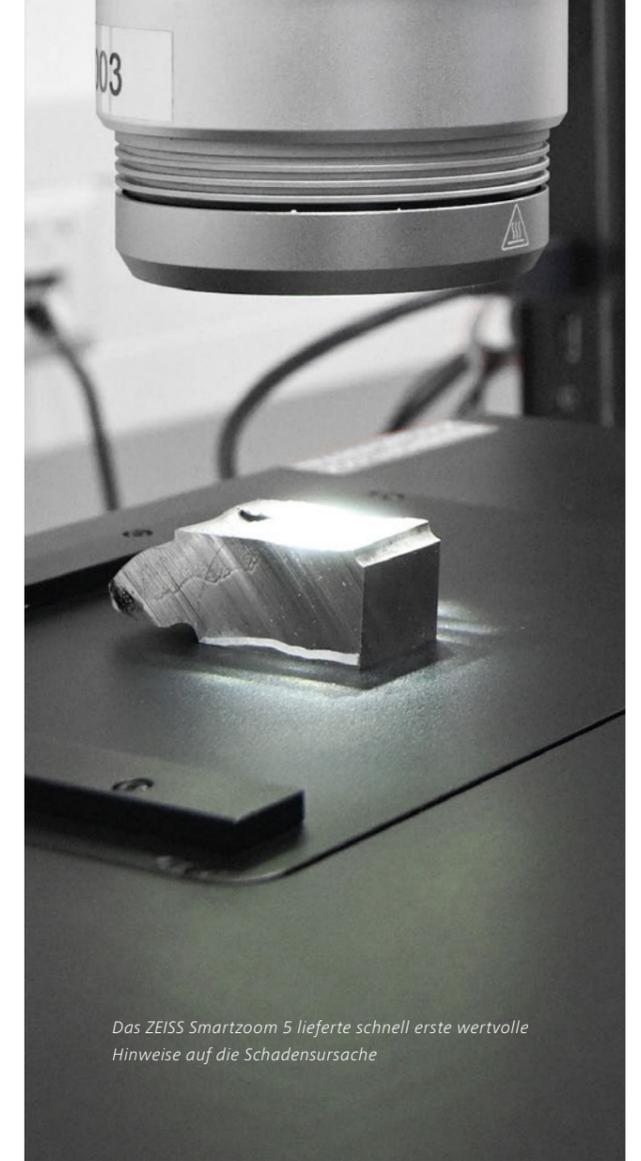


Mikroskopische Prüfaufgaben	Detaillierte Bestimmung der Schadensursache
Vorteile	Hochaufgelöste Bilder mit großer Bildfläche

ZEISS EVO 15



Mikroskopische Prüfaufgabe	Chemische Bestimmung der Verunreinigungen
Vorteile	Ergänzende Informationen zur Qualitätsoptimierung



Das ZEISS Smartzoom 5 lieferte schnell erste wertvolle Hinweise auf die Schadensursache

Stahl ist der Werkstoff der industriellen Revolution und seitdem ein Grundstoff des industriellen Fortschritts. Ob Automobilindustrie, Maschinenbau, Schiffsbau, Luft- und Raumfahrt, Elektroindustrie oder Baugewerbe – Stahl ist allgegenwärtig und nach wie vor unverzichtbar.

Hohe Nachfrage und komplexere Anforderungen

Werkstofflabore wie SPC sind mit den Entwicklungen der Stahlbranche direkt konfrontiert. Die Herausforderungen von Stahlproduzenten und Stahlverarbeitern sind vielfältiger denn je. Angesichts von Angebotsengpässen auf dem Stahlmarkt wächst der Bedarf an Qualitätsmaßnahmen zur Ausschussminimierung. Zugleich wächst der Zeitdruck, Fehlerursachen schnell zu ermitteln. Umso wichtiger sind Mikroskopielösungen, die für jeden Einzelfall schnell und verlässlich Ergebnisse liefern.

Schadensanalyse einer Ritzelwelle

Ein Beispiel aus dem Arbeitsalltag von SPC ist eine im Gussverfahren hergestellte Ritzelwelle aus Stahl. Nach dem Gießen war eine komplette Charge von Ritzelwellen der Länge nach aufgerissen. Die Gießerei machte den Stahlproduzenten für die Fehler verantwortlich, der beauftragte SPC mit der Schadensanalyse.

„Auf den ersten Blick sah der Bruch für uns danach aus, als wäre er durch eine Beschädigung an der Oberfläche des rohen Teils beim Erhitzen entstanden“, berichtet Laborleiter Thomas Schaupp, „also ein Riss von außen nach innen.“ Doch schon bei näherem Hinsehen war eine dunkle Verfärbung in der Mitte der Achse zu erkennen.

Schadensursache eingrenzen

Mit dem Digitalmikroskop ZEISS Smartzoom 5 konnte SPC diesen Befund schnell untermauern: Das Mikroskopbild zeigte eine Oxidation des Stahls in diesem Bereich – eine sogenannte

Verzunderung. Die Schadensursache konnte daher klar im Kern des Bauteils verortet werden.

Schadensursache erkennen

Um das Gefüge genauer zu untersuchen, hat SPC eine weitere Probe genommen, geschliffen und mit Säure geätzt. Unter dem hochauflösendem Weitfeldmikroskop ZEISS Axio Imager Z2m wurden so Verunreinigungen in den Fugen des Kristallgefüges sowie Einschlüsse von Fremdmaterial sichtbar.

Verunreinigungen bestimmen

Mit dem Rasterelektronenmikroskop ZEISS EVO 15 gelang es den Experten von SPC, auch die chemische Zusammensetzung der Verunreinigungen zu bestimmen. Das Mikroskopieverfahren der eingegiedispersiven Spektroskopie (EDX) offenbarte, dass die Ablagerungen (Seigerungen) an den Korngrenzen aus Schwefel und Phosphor und die anderen Einschlüsse aus Mangan und Schwefel bestehen.

Verlässliche Ergebnisse liefern

SPC konnte für den Stahlproduzenten außerdem ermitteln, dass sich die Verunreinigungen innerhalb der vom Kunden geforderten Norm bewegen. Da jedoch im Achsenzentrum eine Bohrung gesetzt wurde, die das Material besonders strapazierte, kam es zum Bruch. Nach Einschätzung von Laborleiter Schaupp hätte der Ritzelhersteller aufgrund dieser Bohrung engere Toleranzen für den gelieferten Stahl festsetzen müssen.

Schnell zum Ergebnis mit ZEISS Mikroskopielösungen

Zwei Punkte sind für die Kunden von SPC wesentlich: Die Verlässlichkeit des Ergebnisses und eine möglichst schnelle Analyse. Im Fall der Ritzelwelle konnte SPC innerhalb weniger Tage ein detailliertes und reproduzierbares Ergebnis liefern. Die Mikroskopielösungen von ZEISS spielten dabei eine entscheidende Rolle. Der Einsatz verschiedener Mikroskope – vom Digital- bis zum Elektronenmikroskop – ermöglichte SPC ein effektives, schrittweises Vorgehen. In jedem Schritt



Das ZEISS Smartzoom 5 offenbarte schwächende Oxidationen im Kern des Bauteils



Mit dem Rasterelektronenmikroskop ZEISS EVO 15 konnte SPC auch die chemische Zusammensetzung der Verunreinigungen bestimmen



Unter dem Weitfeldmikroskop ZEISS Axio Imager Z2m wurden Verunreinigungen in den Fugen des Kristallgitters sichtbar

konnten weitere Informationen zur präzisen Bestimmung der Schadensursache ermittelt werden, aufbauend auf den vorherigen Ergebnissen.

Eine Software für mehr Effektivität

Über die Software ZEISS ZEN core war es für SPC möglich, die Ergebnisse von Licht- und Elektronenmikroskopie einfach zueinander in Bezug zu setzen und gemeinsam auszuwerten. Hard- und Software sind bei ZEISS optimal aufeinander abgestimmt. ZEISS ZEN core unterstützt die Nutzer mit einer einfachen Benutzerführung und zahlreichen automatisierten Funktionen beim Aufnehmen, bei der Bildverarbeitung und bei der Auswertung. Dadurch wird der Einfluss des einzelnen Nutzers reduziert und die Reproduzierbarkeit verbessert.

Cloudbasierte Datenbank

SPC nutzt eine cloudbasierte Datenbank von ZEISS, um ihren Kunden die Ergebnisse der Materialanalysen vollständig, transparent und komfortabel zur Verfügung zu stellen. „PDFs via E-Mail zu verschicken ist heute nicht mehr zeitgemäß“, sagt Laborleiter Thomas Schaupp, „in Zeiten der Digitalisierung erwarten wir und unsere Kunden solche Lösungen.“

Kristallstrukturen von Metallen untersuchen

Röntgenmikroskop
ZEISS CrystalCT

ZEISS CrystalCT ist der erste kommerziell erhältliche Mikro-Computertomograph, der kristallographische Kornstrukturen sichtbar macht. Die Untersuchung polykristalliner Materialien wie Metalle, Legierungen und Keramiken wird damit auf eine neue Stufe gestellt. Möglich wurde dies durch neu entwickelte Beugungs-Kontrast-Verfahren. Darüber hinaus hebt ZEISS CrystalCT Beschränkungen bei der Probengröße auf und ermöglicht es, ganz verschiedene Probentypen in großer Zahl schnell und zerstörungsfrei zu analysieren.



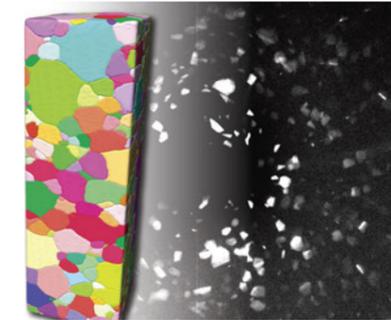
ZEISS CrystalCT



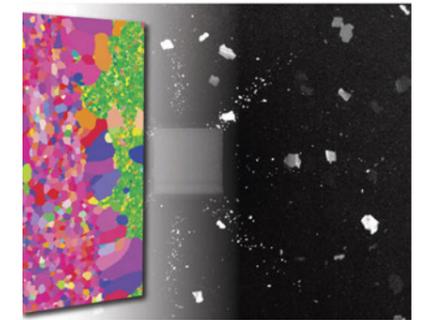
Prüfaufgabe	Kristall- und Mikrostrukturen in Metallen und Legierungen untersuchen
Vorteile	Schnelle Prüfung, großes Probenvolumen, einzigartige Technologie, um Kristallstruktur sichtbar zu machen



Kristallstruktur einer Aluminium-Kupfer-Legierung, eingesetzt beispielsweise im Flugzeugbau wegen des geringen spezifischen Gewichts



Kristallstruktur von Titan, eingesetzt beispielsweise als Basiswerkstoff für Implantate



Kristallstruktur eines kornorientierten Elektrobandes, eingesetzt beispielsweise in Elektromotoren, Transformatoren oder Generatoren

Beugungskontraste machen die Kristallstruktur sichtbar

ZEISS CrystalCT nutzt zwei verschiedene Bildgebungsverfahren: die etablierte Tomografiertechnik mittels Absorptions-Kontrasten sowie ein neuartiges Verfahren, das Beugungskontraste zur Bildgebung heranzieht. Diese Diffraction Contrast Tomography (DCT) wurde von ZEISS in Partnerschaft mit Xnovo Technology entwickelt. Damit ist es erstmals in einem kommerziell erhältlichen CT-Gerät möglich, die Kornstruktur von Metallen, Legierungen und Keramiken dreidimensional abzubilden. Die Beugungs-Kontrast-Tomografie ermöglicht darüber hinaus In-situ-4D-Studien, um die Auswirkungen unterschiedlicher Bedingungen im Zeitverlauf zu analysieren.

Repräsentative Daten für die virtuelle Materialprüfung

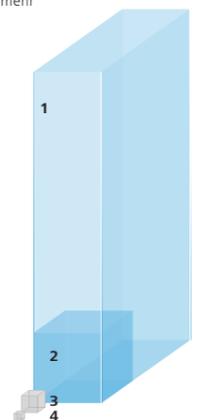
Die virtuelle Materialprüfung beschleunigt die Entwicklung neuer Materialien enorm. Um die Computermodelle dazu möglichst realitätsgetreu erstellen zu können, ist eine große Menge realer Untersuchungsdaten erforderlich. Herkömmliche destruktive Verfahren zur Korncharakterisierung sind sehr zeitaufwendig und liefern nur eine geringe Datenmenge. ZEISS CrystalCT hingegen erfasst wesentlich größere Probenvolumen und liefert ein detailliertes digitales Abbild der dreidimensionalen Kristallstruktur – in einem Bruchteil der Zeit. Die neuartige Beugungs-Kontrast-Tomografie hebt Volumenbeschränkungen auf und ermöglicht, eine Vielzahl unterschiedlicher Probentypen zu untersuchen. Das macht ZEISS CrystalCT zum idealen Datenlieferanten für die virtuelle Materialprüfung.

1 Zerstörungsfreies CrystalCT
Volumen: $\gg (1000)^3 \mu\text{m}^3$ und mehr
Isotropic voxels: bis zu $2 \mu\text{m}$
Voxel aspect ratio = 1

2 Zerstörungsfreies DCT
Volumen: $\gg (1000)^3 \mu\text{m}^3$
Isotropic voxels: bis zu $2 \mu\text{m}$
Voxel aspect ratio = 1

3 PFIB + EBSD
Volumen: $\gg (250)^3 \mu\text{m}^3$
Schichtdicke: $0.2 - 5 \mu\text{m}$
Voxel aspect ratio ≥ 50

4 Ga-FIB + EBSD
Volumen: $\gg (100)^3 \mu\text{m}^3$
Schichtdicke: 10 nm
Voxel aspect ratio ≥ 1



Die neuartige Beugungs-Kontrast-Tomografie von ZEISS CrystalCT vergrößert deutlich das untersuchbare Probenvolumen

Zerstörungsfreie Röntgenprüfung ganzer Bauteile

Computertomograph ZEISS METROTOM

Mit einem Computertomographen von ZEISS erledigen Sie selbst komplexe Mess- und Prüfaufgaben effizient und zerstörungsfrei mit nur einem Röntgenscan. Die normgerechte Abnahme, die verwendete Präzisionsmechanik und das ausgeklügelte Einmessverfahren gewährleisten die Rückführbarkeit des Systems. Linearführungen und Drehtisch erfüllen höchste Ansprüche an die Genauigkeit.

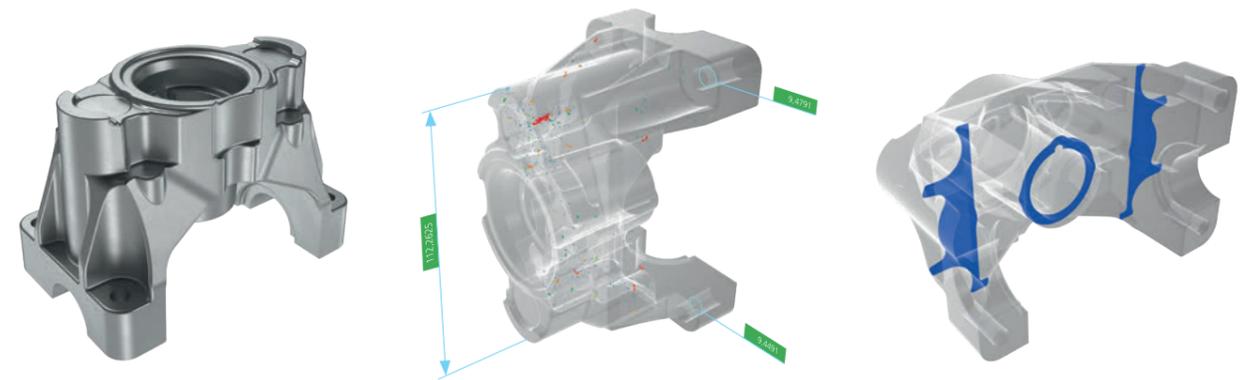


3D-Inspektion eines Leichtmetallbauteils mit ZEISS METROTOM

ZEISS METROTOM



Prüfaufgabe	Verborgene Strukturen zerstörungsfrei prüfen
Vorteile	Ersetzt mit einem 3D-Scan verlässlich viele aufwendige Prüfverfahren und liefert ein umfassendes digitales Abbild



ZEISS METROTOM liefert Informationen zur Geometrie, zu Lunkern und zu innenliegenden Strukturen

Messen und analysieren ganzer Bauteile

ZEISS METROTOM ist ein industrieller Computertomograph zum Messen und Prüfen kompletter Bauteile aus Kunststoff oder Leichtmetall. Verborgene Strukturen, die mit herkömmlicher Messtechnik nur nach der aufwendigen schichtweisen Zerstörung des Bauteils geprüft werden können, macht ZEISS METROTOM auf einfachste Weise sichtbar und auswertbar.

Umfassende CT-Datenanalyse in 3D

Die einfach zu bedienende und auch für Einsteiger geeignete Analysesoftware ZEISS INSPECT X-Ray ermöglicht eine komplette CT-Datenanalyse in 3D. Geometrien, Lunker oder innenliegende Strukturen und Zusammenbausituationen können exakt analysiert werden. Dabei werden durch individuelle Schnittbilder selbst kleinste Defekte sichtbar und lassen sich anhand verschiedener Kriterien automatisiert bewerten. Außerdem können Sie Volumendaten von mehreren Bauteilen

in ein Projekt laden, eine Trend-Analyse durchführen und die Analyse mit CAD-Daten vergleichen. So kann die Qualität Ihres Bauteils exakt bestimmt und dokumentiert werden – und das alles in nur einer Software.



Anwendungsbeispiel: Prüfung von Gussrohteilen zur Prozessoptimierung

Das österreichische Druck- und Spritzgussunternehmen TCG UNITECH nutzt einen ZEISS METROTOM 1500 in unmittelbarer Nähe zu seinen 20 Druckgussmaschinen in der Fertigung. Qualitätsschwankungen werden damit schnell und verlässlich aufgedeckt. Bei detektierten Porositäten zeigt ZEISS METROTOM beispielsweise auf, ob es sich dabei um Lufteinschlüsse oder Schwund handelt. Mit dieser wichtigen Information können die Mitarbeiter sofort die gießtechnischen Prozessparameter anpassen, um Ausschuss zu

vermeiden. Viele zeitaufwendige Prüfungen, die früher notwendig waren, entfallen mit ZEISS METROTOM. Der Computertomograph erübrigt zerstörende Prüfverfahren. Mit nur einem 3D-Scan liefert ZEISS METROTOM schnell umfassende Ergebnisse. Darüber hinaus nutzt TCG UNITECH das 3D-Röntgengerät auch zur Konstruktion von Gussrohlungen über Reverse Engineering und bei der Einführung neuer Serienbauteile. ZEISS METROTOM liefert hier schnelle Ergebnisse zur Validierung mit dem Kunden und beschleunigt so die Freigabe zur Serienfertigung.



Die Analyse eines Zugversuchs mit ZEISS ARAMIS liefert ein genaues Verständnis vom Verformungsverhalten eines Materials

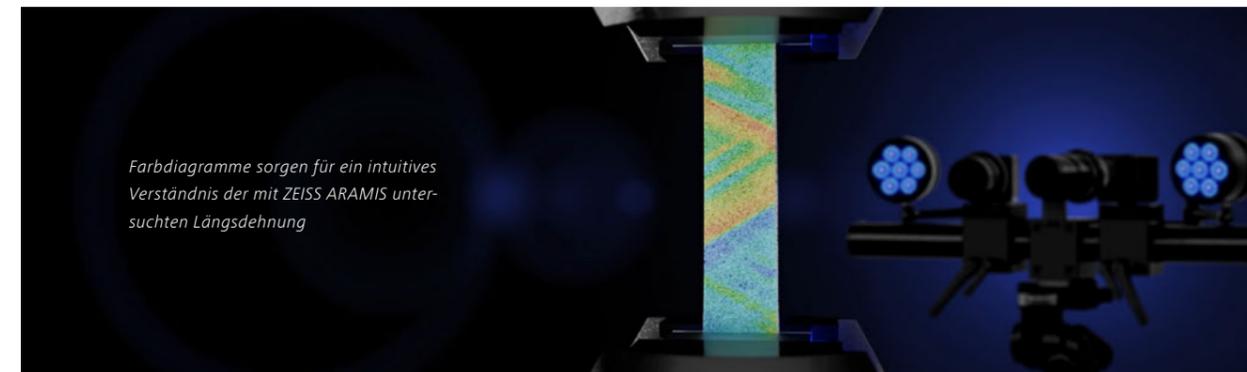
Optischer 3D-Sensor ZEISS ARAMIS



Prüfaufgabe	Dehnungsverhalten detailliert untersuchen
Vorteile	Vollständige Analyse des Dehnungsverhaltens, hohe Datendichte, geringer Aufwand in der Probenvorbereitung, leicht verständliche Farbdigramme

Zugversuche detailliert optisch auswerten 3D-Sensor ZEISS ARAMIS

ZEISS ARAMIS eröffnet bei Zugversuchen ein tieferes und genaueres Verständnis der Materialeigenschaften. Mit hochauflösenden oder Hochgeschwindigkeitskameras liefert der optische 3D-Sensor kontaktlos die exakten Koordinaten der Probenoberfläche im zeitlichen Verlauf und damit die abgeleiteten Messgrößen Geschwindigkeit und Beschleunigung. Durch die visuelle Darstellung der Dehnungsverteilung gewinnen Sie einen schnellen Überblick über die Kraftwirkungen an der Materialoberfläche. Mit den Bilddaten von ZEISS ARAMIS können Sie darüber hinaus Materialkenndaten bestimmen und numerische Simulationen validieren.



Farbdigramme sorgen für ein intuitives Verständnis der mit ZEISS ARAMIS untersuchten Längsdehnung

Anwendungsbeispiel: Überprüfung numerischer Modelle bei Bolzenverbindungen

Hinsichtlich der Nutzung von Bolzen in der Luft- und Raumfahrt wurden in einem Zugversuch Bolzenverbindungen an CFK-Bauteilen untersucht. Ziel

der Forschung war, mit den Daten von ZEISS ARAMIS numerische Modelle zum Materialverhalten zu überprüfen. Dank der grafisch visualisierten hochauflösenden Bilddaten konnten Dehnungsspitzen genau lokalisiert und das Verhalten der Probe intuitiv veranschaulicht werden.

Wegen des geringen Präparationsaufwands konnte zudem eine große Anzahl von Proben effizient untersucht werden.

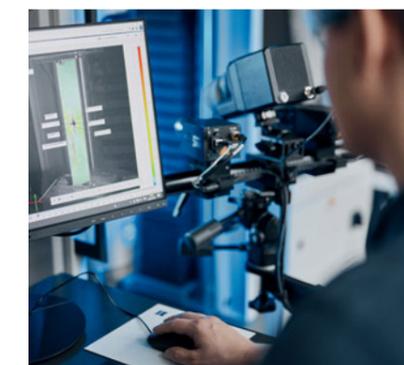
Mit ZEISS ARAMIS Dehnungsverteilungen kontaktlos erfassen

Die Messung inhomogener Dehnungsverteilungen ist mit herkömmlicher taktiler Dehnungsmesstechnik nicht möglich. Der optische 3D-Sensor ZEISS ARAMIS liefert Tausende von Messwerten zu Dehnungen und visualisiert die Dehnungsverteilung auf der Oberfläche der Materialprobe in leicht verständlichen Farbdigrammen. Selbst das Dehnungsverhalten kurz vor dem Versagen der Materialprobe wird von ZEISS ARAMIS zuverlässig erfasst.

messstreifen, die nur einen Datenpunkt bereitstellen, kann entfallen. ZEISS ARAMIS bietet dank berührungslosem Messprinzip mit Kamertechnik enorme Flexibilität in Bezug auf Probenmaterial, Probenform und zeitliche Messwertauflösung.

Dehnungs- und Temperaturverteilung synchron analysieren

Im Verbund von ZEISS ARAMIS mit einer Thermografie-Infrarotkamera lassen sich die Dehnungs- und die Temperaturverteilung in der Probe separat aber zeitlich synchron analysieren. Bei einem Zugversuch kann auf diese Weise beispielsweise bestimmt werden, wann die Verformung elastisch erfolgt (bewirkt eine Abkühlung) und wann plastisch (bewirkt eine Erwärmung). Die zueinander in Bezug gesetzten Daten sind zudem zur Validierung numerischer Simulationen nutzbar.



Erfassung des Dehnungsverhaltens einer Lochzugprobe mit ZEISS ARAMIS

Carl Zeiss IQS Deutschland GmbH

Carl-Zeiss-Straße 22
73447 Oberkochen, Deutschland
Tel.: +49 7364 20-6337
Fax: +49 7364 20-3870

info.metrology.de@zeiss.com
www.zeiss.de/imt