

# Qualitätssicherung für die E-Mobilität

ZEISS eMobility Solutions

ZEISS

Seeing beyond



[zeiss.de/emobilitysolutions](https://zeiss.de/emobilitysolutions)

# Qualitätssicherung vorantreiben

## Sicherheit und Leistung von Elektrofahrzeugen

Auf dem Weltmarkt für Fahrzeuge mit alternativen Antriebsmitteln werden Hersteller mit ständig verändernden Anforderungen konfrontiert und müssen dabei die schnell wachsende Nachfrage bewältigen. Schlüsselkomponenten wie Batterien und Elektromotoren sind für die Sicherheit dieser Fahrzeuge und die Steigerung ihrer Leistung, Reichweite und Konstruktion von entscheidender Bedeutung.

Die Hersteller müssen hochentwickelte, ganzheitliche Qualitätssicherungsverfahren für die Produktion einführen, um mit der Entwicklung Schritt zu halten und gleichzeitig die höchsten Sicherheits- und Leistungsstandards zu gewährleisten. Durch eine gleichbleibend hohe Qualität können Sie die neuen Herausforderungen erfüllen, Engpässe vermeiden und eine Vorreiterrolle bei der schrittweisen Umstellung auf Elektromobilität einnehmen.

# Ihr Partner für die Qualitätssicherung von Elektrofahrzeugen

## Ganzheitliche Lösungen von ZEISS

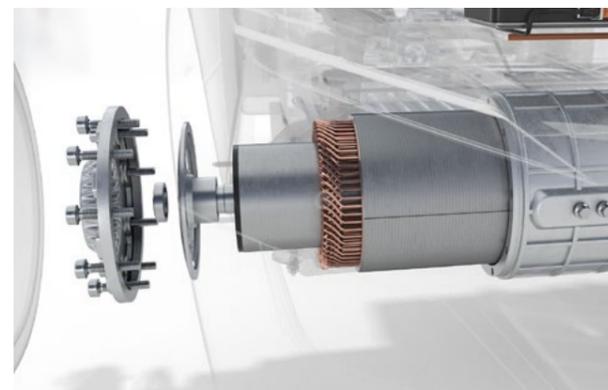
ZEISS eMobility Solutions bieten zahlreiche Lösungen speziell entwickelt für die Elektromobilität, die bereits über 1.000 Kunden bei der Verbesserung Ihres Qualitätsmanagements unterstützen.

Mit unserem anwendungsorientierten Ansatz und unserem umfassenden Produktportfolio sind wir der führende Partner in jeder Phase des Prozesses und unterstützen den Wandel in dieser sich schnell entwickelnden Branche.

### Batterie

- Batteriematerialien
- Batterieelektroden
- Batteriezellen und -module
- Batteriewanne

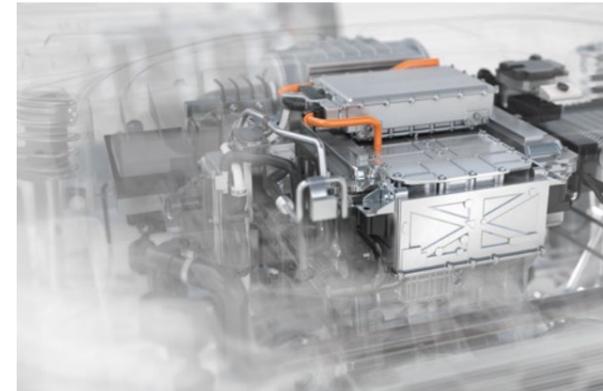
**Seite 06**



### Elektromotor

- Hairpins
- Blechpaket
- Stator
- Rotor und Welle

**Seite 20**



### Brennstoffzellensystem

- Bipolarplatte
- Membran-Elektroden-Einheit
- Peripheriekomponenten

**Seite 34**



### Leistungselektronik

- Halbleiter
- Leiterplatte
- Gehäuse und Steckverbinder

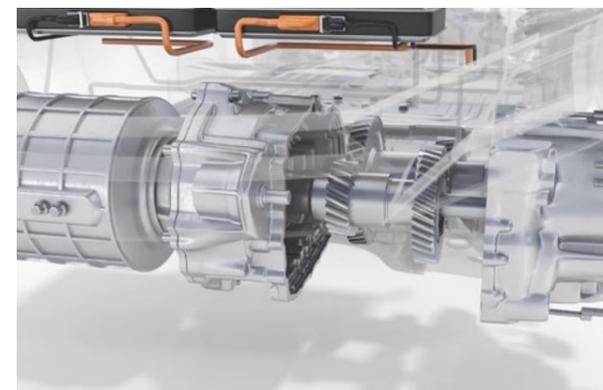
**Seite 44**



### Getriebe

- Zahnräder
- Gehäuse

**Seite 50**



# Qualitätsmanagement

## von Batterien

### Sicherstellung einer langfristig herausragenden Leistung

Batterien sind der Schlüssel zu Reichweite, Leistung und Langlebigkeit von Elektrofahrzeugen. Zuverlässige und langlebige Batterien erfordern erstklassige Materialien und präzise Produktionstechniken. Sie sind auch das Herzstück einer Vielzahl von Qualitätsmanagementanwendungen von der ersten Entwicklung an. Auch bei der Endmontage müssen die Zellen, Module und Batteriewannen sehr enge Toleranzen einhalten.

Von der industriellen Mikroskopie und Computertomographie (CT) über Koordinatenmessgeräte (KMG) bis hin zu optischen 3D-Messsystemen bietet das ZEISS Portfolio eine Reihe von anspruchsvollen Hard- und Softwarelösungen. Diese erfassen die Messdaten, die erforderlich sind, um die Sicherheit und Leistung von Batterien für Elektrofahrzeuge zu gewährleisten.

→ Finden Sie das perfekte Produkt für Ihre Anwendung auf Seite 54



**Batterieelektroden**  
Technische Sauberkeit  
[Seite 10](#) →

**Batteriezellen und -module**  
Schnelle, hochauflösende Inspektion  
[Seite 12](#) →

**Batteriewanne**  
Inspektion der Struktur  
[Seite 14](#) →

**Batteriematerialien**  
Material- und  
Strukturentwicklung  
[Seite 08](#) →

## Qualitätssicherung für Batteriematerialien

### Entwicklung der Materialstruktur und Verarbeitung von Rohstoffen

Von allen Elementen eines Elektrofahrzeugs hat das Batteriesystem den größten Einfluss auf das Fahrerlebnis. Die Batterieleistung wird stark von den Rohstoffen beeinflusst, wobei die Material- und Strukturentwicklung eine Schlüsselrolle spielt. Zu den wichtigsten Herausforderungen in diesem Zusammenhang gehören die Entwicklung neuer aktiver Materialien, die Sicherstellung einer gleichmäßigen und konsistenten Versorgung, die Aufrechterhaltung eines angemessenen Kalandrierdrucks und die Beobachtung mikroskopischer Veränderungen durch Alterung der Batterien.

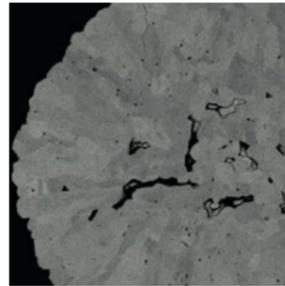
#### Rezeptentwicklung

##### Herausforderungen

- Kathoden-, Anoden- und Separator-materialien bestimmen Kapazität, Ladeverhalten und Lebensdauer der Batterie
- Die Zelleistung hängt stark von der Mikrostruktur des Materials, der chemischen Zusammensetzung der Partikel und von Verunreinigungen ab

##### ZEISS Lösungen

- Bestimmung relevanter Materialeigenschaften mit der ZEISS Elektronen- und Röntgenmikroskopie (XRM) für eine höhere Batterieleistung
- Effiziente Korrelationsanalyse durch patentierte korrelative Licht- und Rasterelektronenmikroskopie



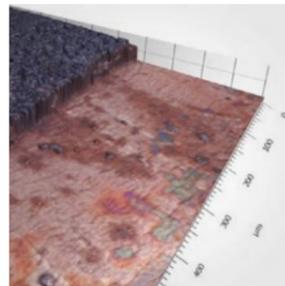
#### Kontrolle der Lieferkette

##### Herausforderungen

- Sicherstellen von Einheitlichkeit und Konsistenz durch Wareneingangskontrolle: Vermeidung von Leistungs- und Effizienzeinbußen
- Schutz vor Batterieausfällen durch Prüfung der Rohstoff-Mikrostruktur, der Reinheit der Elektrodenmaterialien und ihrer chemischen Zusammensetzung

##### ZEISS Lösungen

- Bildgebung im Subnanometerbereich, Analytik und Probenflexibilität mit ZEISS GeminiSEM
- Vollständiger Workflow zur Probenvorbereitung für eine schnelle, klare und nahtlose Abbildung der Materialmikrostruktur
- Analyse ganzer Batterien mit der ZEISS-Röntgenmikroskopie für eine gleichmäßige Stromversorgung



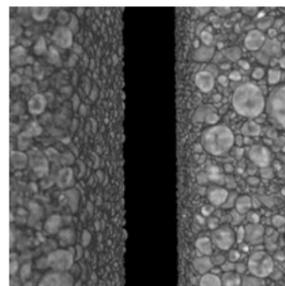
#### Kalandrierdruck

##### Herausforderungen

- Hohlraum- und Rissbildung in den Elektroden durch unzureichende Materialdurchmischung und ungleichmäßigen Kalandrierdruck
- Schwankungen im Kalandrierdruck verursachen eine ungleiche Dichte der Partikel und Porosität der Elektroden

##### ZEISS Lösungen

- Inspektion mit ZEISS 3D-Röntgenmikroskopie (XRM) zur frühzeitigen Erkennung und Beseitigung von Beeinträchtigungen
- Schutz vor suboptimaler Energie, schlechter Ladefähigkeit und verminderter elektrochemischer Leistung



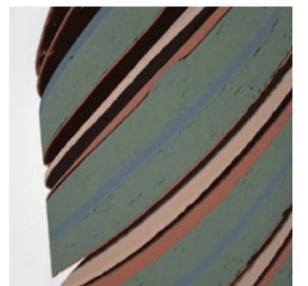
#### Lebensdauer und Alterungseffekte

##### Herausforderungen

- Alterungseffekte sind für Leistungsschwankungen während der Batterielebensdauer verantwortlich
- Die kontinuierliche Ausdehnung der Elektrodenpartikel während des (Ent-)Ladens führt zu Rissen, verminderter mechanischer Stabilität und Verlust des Stromkontakts

##### ZEISS Lösungen

- Die zerstörungsfreie Abbildung der Mikrostruktur mit ZEISS Mikroskopen zeigt Änderungen durch das (Ent-)Laden
- Das mikroskopische Abbilden elektrischer Eigenschaften mit der ZEISS Elektronenmikroskopie zeigt Kapazitätsverluste und mögliche Zellausfälle



## Qualitätssicherung für die Elektrodenproduktion

### Technische Sauberkeit und Gratinspektion

Die Geometrie und die Zusammensetzung der Elektroden in den Batteriezellen spielen eine wichtige Rolle für die Sicherheit und Effizienz. Um Sicherheitsrisiken vorzubeugen und strenge Qualitätsstandards einzuhalten, muss die beim schneiden von Elektroden verwendete Klinge rechtzeitig überprüft und ausgetauscht werden. Da ein hohes Risiko von Partikelverunreinigungen besteht, die die Lebensdauer und Qualität der Batterien beeinträchtigen können, ist es wichtig, diese zu erkennen und die Ursache mit Hilfe von Lösungen der technische Sauberkeit zu ermitteln.

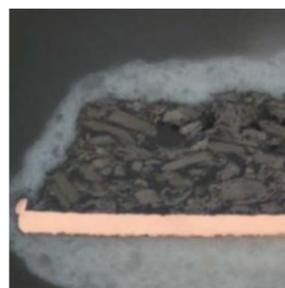
#### Gratinspektion

##### Herausforderungen

- Metallgrate, die beim Schneiden der Elektroden entstehen, können die Batterieleistung beeinträchtigen
- Der Zeitpunkt für den Klingenwechsel muss daher perfekt abgestimmt sein, um ein Gleichgewicht zwischen Qualität und Kosten herzustellen

##### ZEISS Lösungen

- Hochauflösende Qualitätsprüfung geschnittener Elektroden im Labor mit ZEISS Multisensor-KMG
- Echtzeitüberwachung mit optischer Inline-Messtechnik beim schneiden und stapeln von Elektroden
- Automatisierte Graterkennung in der Produktionsumgebung



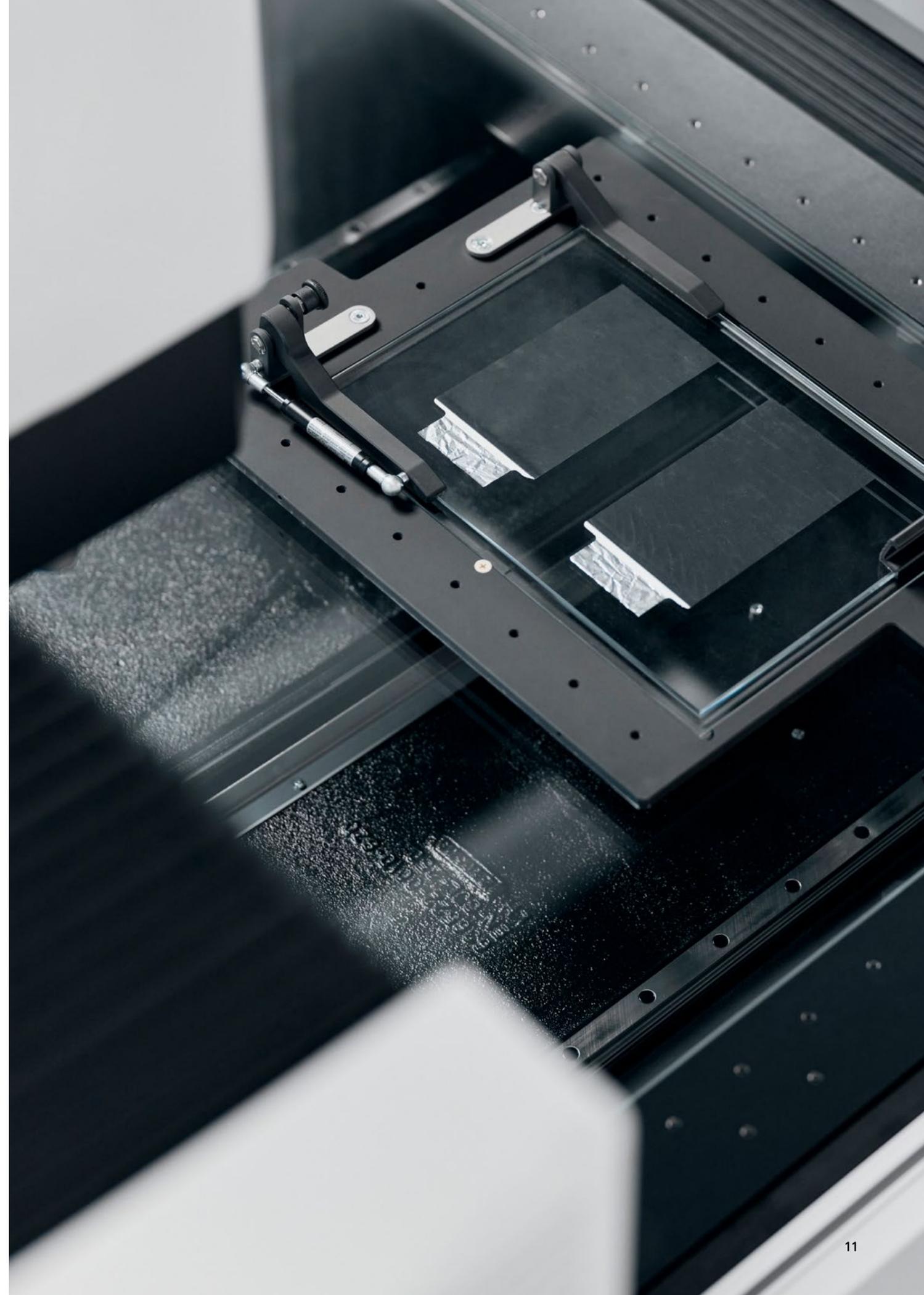
#### Technische Sauberkeit

##### Herausforderungen

- Hohes Kontaminationsrisiko bei Transport und Produktion: Fremdkörper größer als 5 µm müssen erkannt werden
- Die Ermittlung der Ursache erfordert die Unterscheidung zwischen Partikeltypen, chemischer Zusammensetzung und Herkunft

##### ZEISS Lösungen

- Einrichten moderner Workflows zur Ermittlung von Kontaminationen und deren Ursachen mit der ZEISS Correlative Particle Analysis
- Differenzieren von Metall-, Faser- und Nichtmetallpartikeln mit ZEISS Technische Sauberkeit Lösungen zur Abschätzung des Kontaminationsrisikos
- Ermitteln der Kontaminationsursache mit ZEISS SEM durch Anzeige der chemischen Zusammensetzung der Partikel



## Qualitätssicherung für Batteriezellen und -module

### Herstellung und Montage von Batteriezellen

Die Endkontrolle des kompletten Batteriemoduls ist ein besonders anspruchsvoller Prozess, da von den einzelnen Zellen in den Modulen eine Reihe von Sicherheitsrisiken und Qualitätsproblemen ausgehen können. Für alle drei Zelltypen - zylindrisch, prismatisch und pouch - sind schnelle Testzyklen mit hoher Auflösung erforderlich. Alle drei Typen stehen zudem vor unterschiedlichen Herausforderungen in Bezug auf Produzierbarkeit, Leistung, Haltbarkeit und Sicherheit sowie Qualitätsprüfung und Fehleranalyse.

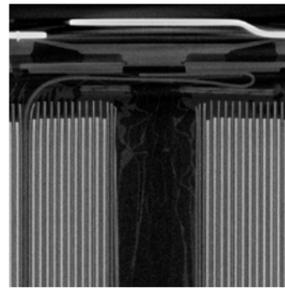
#### Zelltypen

##### Herausforderungen

- Drei verschiedene Batteriezelltypen stellen zahlreiche Herausforderungen an Fertigung und Montage
- Funktionsstörungen können durch Überhang, Schweißnähte und Elektrodenfehler verursacht werden

##### ZEISS Lösungen

- Ermittlung von Metallpartikeln, Delamination, Wicklung und Brandstellen an Elektroden mit ZEISS Röntgenlösungen
- Mängelprüfung bei der Modulmontage, dimensionale Messtechnik am Batteriegehäuse für alle Zellarten mit ZEISS Röntgenlösungen



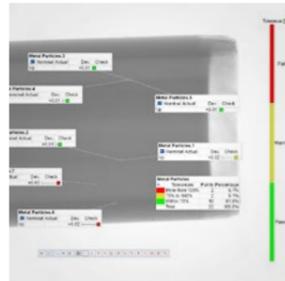
#### Inspektion der Batteriezellen

##### Herausforderungen

- Feststellen der bei der Zellfertigung entstandenen Metallverunreinigungen zum Ausschluss der Kurzschlussgefahr
- Schutz vor Sicherheitsrisiken und Ausschuss, Prüfung der Elektrodenausrichtung und -position, Erkennen innerer Defekte
- Hohe Zellproduktionsgeschwindigkeiten erfordern schnelle, hochauflösende Inspektionszyklen

##### ZEISS Lösungen

- Automatische Erkennung von Metallpartikeln mit ZEISS Automated Defect Detection (ZADD) und Inspektion mit industriellen CT-Systemen von ZEISS
- Hochauflösende Prüfung nicht ausreichender Überhang, beschädigter Elektroden und Schweißqualität mit ZEISS 2D und 3D Röntgenlösungen
- 100 % automatische Inline-Defekterkennung mit ZEISS BOSELLO Röntgenlösungen



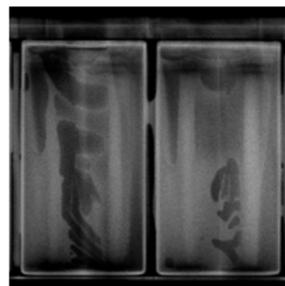
#### Montage der Batteriemodule

##### Herausforderungen

- Modulgröße und -dichte erfordern den Einsatz von Hochleistungssystemen
- Die finale Qualitätsprüfung erfordert das Erkennen typischer Defekte wie Metallverunreinigungen, Schweißprüfung am Gehäuse und Prüfung der Klebbereiche

##### ZEISS Lösungen

- Handhabung großer, schwerer und dichter Batteriemodule mit dem leistungsstarken ZEISS VoluMax 9 titan
- Zerstörungsfreie Prüfung des Moduls mit hoher Durchdringung



## Qualitätssicherung für die Batteriewanne

### Komponentenzuverlässigkeit durch Inspektions- und Qualitätsdaten

Als vollständig in die Karosserie eines Elektrofahrzeugs integrierte Batterieaufnahme muss die Batteriewanne mechanisch stabil sein und sich nahtlos in die Umgebung einfügen. In der komplexen Aluminium-Schweißkonstruktion sind alle Batteriezellen, Anschlüsse, Steuereinheiten, Batteriepacks und die zahlreichen Batteriemodule untergebracht. Die Unversehrtheit und Struktur der Batteriewanne muss während der Produktion in mehreren Intervallen geprüft werden, wobei Methoden wie die Vollflächenprüfung die Qualität und Sicherheit gewährleisten.

#### Kontrolle des Fügeprozesses

##### Herausforderungen

- Lange Mess-/Prüfzyklen, dazu viele geometrische Elemente und Schweißverbindungen
- Inline-Lösung für die Produktion zur 100%igen Überwachung der Aufnahme

##### ZEISS Lösungen

- ZEISS Inline-Lösungen: korrelationsfreie, rückverfolgbare Mess- und Prüfdaten
- Schnelle Merkmalsmessung: ZEISS AICell trace
- Prozessüberwachung in Echtzeit für alle komplexen Merkmale



#### Kontrolle des Fräs- und Bohrprozesses

##### Herausforderungen

- Die thermische Ausdehnung des Batteriepacks beim Laden und Fahren kann zu Verdrehungen und Verbiegungen der Batteriewanne führen
- Zahlreiche Abmessungsmerkmale müssen stichprobenartig oder durch eine vollständige automatische Endkontrolle gemessen werden

##### ZEISS Lösungen

- Horizontalarm-Messgeräte: Multisensorische Messung einer großen Anzahl von Merkmalen mit schnellen Prüfzyklen
- Berührungslose optische Laserscanner von ZEISS extrahieren schnell Merkmalsdaten
- Taktile Messköpfe erfassen optisch unzugängliche Merkmale wie zum Beispiel Unterschneidungen



#### Komplettinspektion

##### Herausforderungen

- Die Auswertung der gesamten Oberfläche der Batteriewanne beeinflusst die Maßhaltigkeit der gesamten Fahrzeugkarosserie
- flexible Kabel und Verbinder müssen korrekt positioniert werden, um eine einwandfreie Montage der Batteriewanne und der Abdeckung zu gewährleisten
- Für einen sicheren Betrieb müssen die Batteriemodule korrekt in die Batteriewanne eingesetzt werden

##### ZEISS Lösungen

- Die ZEISS ScanBox ermöglicht eine schnelle, automatisierte 3D-Komplettinspektion der Batteriewanne und erstellt in wenigen Minuten vollständigen geometrischen digitalen Zwilling
- Die ZEISS INSPECT Software ermöglicht einen zeitsparenden digitalen Zusammenbau, inklusive aller Anschlusskomponenten und deren Ausrichtung
- ZEISS Lösungen sorgen für Klarheit bei der thermischen Batteriemodulverformung nach Zyklustests
- Sicherstellung der korrekten Platzierung der einzelnen Batteriemodule mit Wiederholbarkeit und hoher Genauigkeit durch ZEISS ARAMIS



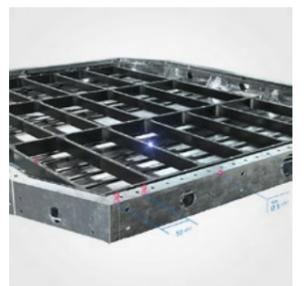
#### Kontrolle kritischer Funktionsmerkmale

##### Herausforderungen

- Sicherheitsprüfung und Zertifizierung der kompletten Batteriewanne
- Ernsthafte Sicherheitsrisiken durch Verbiegen der Batteriewanne bei thermischer Ausdehnung

##### ZEISS Lösungen

- Einsatz taktiler und optischer Sensoren auf einem ZEISS KMG mit großem Messvolumen
- Inline/Atline Ergebnisvergleich/ Korrelation: ZEISS CMM, ZEISS CALYPSO, ZEISS PiWeb



#### Strukturanalyse

##### Herausforderungen

- Batteriewannen aus geschweißtem/ gegossenem Material sind anfällig für kritische Defekte auch im Inneren
- Zur Ausschusserkennung und Bestimmung der Defektgröße und -position ist ein Blick in das Material erforderlich

##### ZEISS Lösungen

- Mit ZEISS 2D und 3D Röntgenlösungen interne Defekte erkennen, lokalisieren, klassifizieren und bewerten
- Detailgenaue Digitalisierung von komplexen Teilen mit ZEISS METROTOM
- Das Unsichtbare sichtbar machen: Defekte erkennen für mehr Sicherheit



## ZEISS eMobility Solutions für jeden Fertigungsschritt

### Blue Line für Batterieentwicklung und -produktion

Das Blue Line Konzept von ZEISS erleichtert den Ablauf der Qualitätssicherung, indem die Herausforderungen ermittelt und ZEISS Lösungen für jeden Fertigungsschritt festgelegt werden, wobei jeder dieser Schritte klar als Quality Gate definiert ist. Die Blue Line Quality Gates decken im Bereich der Batterien das gesamte Spektrum von der Materialentwicklung bis zur Endkontrolle des montierten Batteriemoduls ab.



## XRM: Der X-Faktor für Bildgebung im Submikronbereich

Mit **Dr. Herminso Villarraga-Gómez**,  
X-Ray Quality Solutions Manager, ZEISS Industrial Quality Solutions



Die Computertomographie (CT) und die Röntgenmikroskopie erlauben die zerstörungsfreie Inspektion von hochkomplexen NEV-Bauteilen wie beispielsweise Batterien. Lösungen für den Bereich 3D-Röntgenmikroskopie (XRM) wie die ZEISS Versa Familie kombinieren die Vorteile beider Technologien und unterstützen so die Bildgebung im Submikronbereich zur Erkennung sehr kleiner Details.

/// *Die 3D-Röntgenmikroskopie ist überragend in der zerstörungsfreien Bildgebung im Submikronbereich.“*

Die XRM arbeitet mit einem Multidetektorensystem für eine zweistufige Vergrößerung. Im Anschluss an die von CT- und XRM-Systemen durchgeführte geometrische Vergrößerung ergänzt die XRM die optische Vergrößerung durch einstellbare Objektive für eine beeindruckende Bildschärfe. Diese einzigartige optische Stufe liefert eine Genauigkeit im Submikronbereich, die über die Möglichkeiten des konventionellen CT-Scanning hinausgeht.

Dank diesem dualen Ansatz kann das Bedienpersonal zunächst das gesamte Sichtfeld scannen und dann für eine deutlich detailliertere Betrachtung heranzoomen. „Die 3D-Röntgenmikroskopie ermöglicht durch ihre hohe Kontrastwiedergabe und ihre exzellente Auflösung äußerst präzise Einblicke in die Mikrostruktur“, sagt Dr. Villarraga-Gómez, X-Ray Quality Solutions Manager bei ZEISS Industrial Quality Solutions.

Laut Dr. Villarraga-Gómez lassen sich mit XRM nicht nur unterschiedliche Batterietypen und -dichten exzellent untersuchen, sondern auch „zahlreiche qualitätsrelevante Faktoren, die eine detailgenaue und kristallklare Darstellung erfordern“. Dazu zählen beispielsweise Alterung, Kalandrierdruck und Rissbildung, die bei sicherheitskritischen NEV-Bauteilen genau überwacht werden müssen.

Die XRM eignet sich durch ihre Auflösung im Submikronbereich besonders gut für Aufgaben in der Werkstoffanalyse, zum Beispiel die Überprüfung der Anoden- und Kathodenstruktur. Die ZEISS Versa Familie lässt sich zusätzlich mit der ZEISS Scout-and-Scan Software kombinieren. So ist es möglich, durch eine 3D-Rekonstruktion das Innere der Batterie noch detaillierter darzustellen.

Der X-Faktor der XRM ist die zweistufige Vergrößerung für zerstörungsfreie Scans im Submikronbereich. Während CT normalerweise zur Untersuchung von makroskopischen Strukturen und größeren Bauteilen bis hin zu ganzen Modulen verwendet wird, ermöglicht XRM die präzise Darstellung von einzelnen Zellen und kleineren Werkstücken genauso wie die detaillierte Werkstoffanalyse. „Die 3D-Röntgenmikroskopie ist überragend in der zerstörungsfreien Bildgebung im Submikronbereich“, so Dr. Villarraga-Gómez.

ZEISS  
Versa

## CT: Mehr Qualität und Sicherheit in jeder Phase

Mit **Dr. Dana Begun**,  
Application Engineer – CT Specialist, ZEISS Industrial Quality Solutions

Die NEV-Branche ist bekannt für sicherheitskritische Bauteile, bei denen jeder Fehler gefährliche und kostenintensive Konsequenzen haben kann. Die Computertomographie (CT) eignet sich für robuste zerstörungsfreie Qualitäts- und Sicherheitsprüfungen in allen Fertigungsprozessen von Elektrofahrzeugen.

/// *Die CT unterstützt jede Phase der Batteriefertigung für NEV.“*

Im Gegensatz zu zerstörenden Prüfverfahren bietet die CT die nötige Durchdringungskraft, um hochdetaillierte Bilder zu generieren während das Werkstück selbst völlig intakt bleibt. Im Bereich NEV-Batterien zum Beispiel lassen sich zylindrische, Pouch- und prismatische Zellen abbilden und auch ganze Batteriemodule scannen. Die Flexibilität und Leistungsfähigkeit der CT sind für die zerstörungsfreie Überprüfung zahlreicher NEV-Bauteile zunehmend wichtig.

Neben der Erkennung einer Vielzahl von Fehlern, wie z. B. unzureichender Elektrodenüberstand und Fremdkörperrückstände, vereinfacht sie die Fehleranalyse durch die Visualisierung von Elementen wie Überlastschutzeinrichtungen und Sicherungen. Durch das frühzeitige Erkennen von Schwachstellen erhöht die CT die Sicherheit, verringert den Ausschuss und liefert wichtige Hinweise zur weiteren Optimierung.

„Die CT zeichnet sich vor allem durch ihr multifunktionales Anwendungspotenzial aus“, erklärt Dr. Dana Begun, Application Engineer – CT Specialist bei ZEISS Industrial Quality Solutions. „Von der Atline-Fertigung bis zum Qualitätslabor und von der Fehleranalyse bis zu F&E unterstützt die CT jede Phase der Batteriefertigung für NEV.“

Laut Dr. Begun bietet die CT eine ganze Reihe von Vorteilen. Bei der Nutzung in Inline- und Atline-Umgebungen liefert CT eine konsistente, durchsatzstarke Bildgebung in verschiedenen Phasen der Fertigung. CT ist für die Bereiche F&E und Designoptimierung von größter Bedeutung, da beide eine hohe Bildauflösung und -qualität erfordern. So lässt sich beispielsweise der Alterungsprozess von Batterien in Langzeit-Zyklustests beobachten. Die Leistungsfähigkeit der CT kann auch an spezifische Anforderungen angepasst werden.

So ermöglicht die CT zerstörungsfreie Einblicke in jede Phase des Fertigungsprozesses von NEV-Batterien – selbst für komplette Modulbaugruppen. Durch die vielseitigen Einsatzmöglichkeiten der Computertomographie können nicht nur Zeit, Energie und Geld gespart, sondern auch die geforderten hohen Qualitätsstandards jederzeit gewährleistet werden. „Die CT sorgt für mehr Sicherheit und Innovation auf dem Markt für NEV-Batterien“, bekräftigt Dr. Begun.

ZEISS INSPECT  
X-Ray Software

ZEISS  
METROTOM

ZEISS  
VoluMax

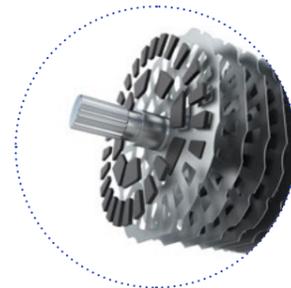
# Qualitätsmanagement von E-Motoren

## Höchste Genauigkeit für automatisierte Prozesse

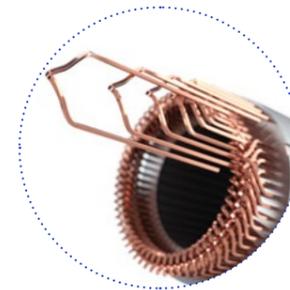
Elektromotoren sind die wahren Kraftzentren in Elektrofahrzeugen. Sie kombinieren hohe Geschwindigkeiten und enorme Drehmomente mit geringem Gewicht und kompakter Bauweise. Viele Elektromotorkomponenten werden in automatisierten Prozessen hergestellt und müssen präzise ineinandergreifen, um ein perfektes Zusammenspiel bei minimalem Verschleiß zu gewährleisten. In jeder Phase der Produktion müssen Kontrollen durchgeführt werden, um die richtige Positionierung, genaue Abmessungen und hochwertige Schweißnähte zu gewährleisten.

Diese hochpräzisen Baugruppen erfordern Genauigkeiten im Mikrometerbereich und eine Reihe von Technologien, einschließlich automatisierter und berührungsloser Lösungen. Von der Inspektion von Hairpins und Blechpaketen bis hin zur Messung von Rotoren und Wellen – mit dem ZEISS Portfolio ist alles möglich.

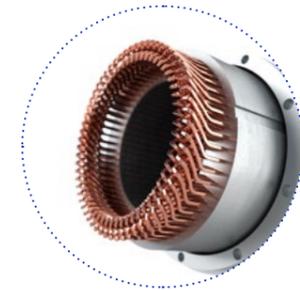
→ Finden Sie das perfekte Produkt für Ihre Anwendung auf Seite 54



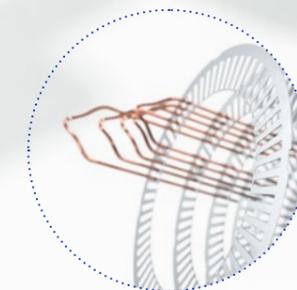
**Rotor und Welle**  
Prüfung von Form und Lage  
[Seite 25](#) →



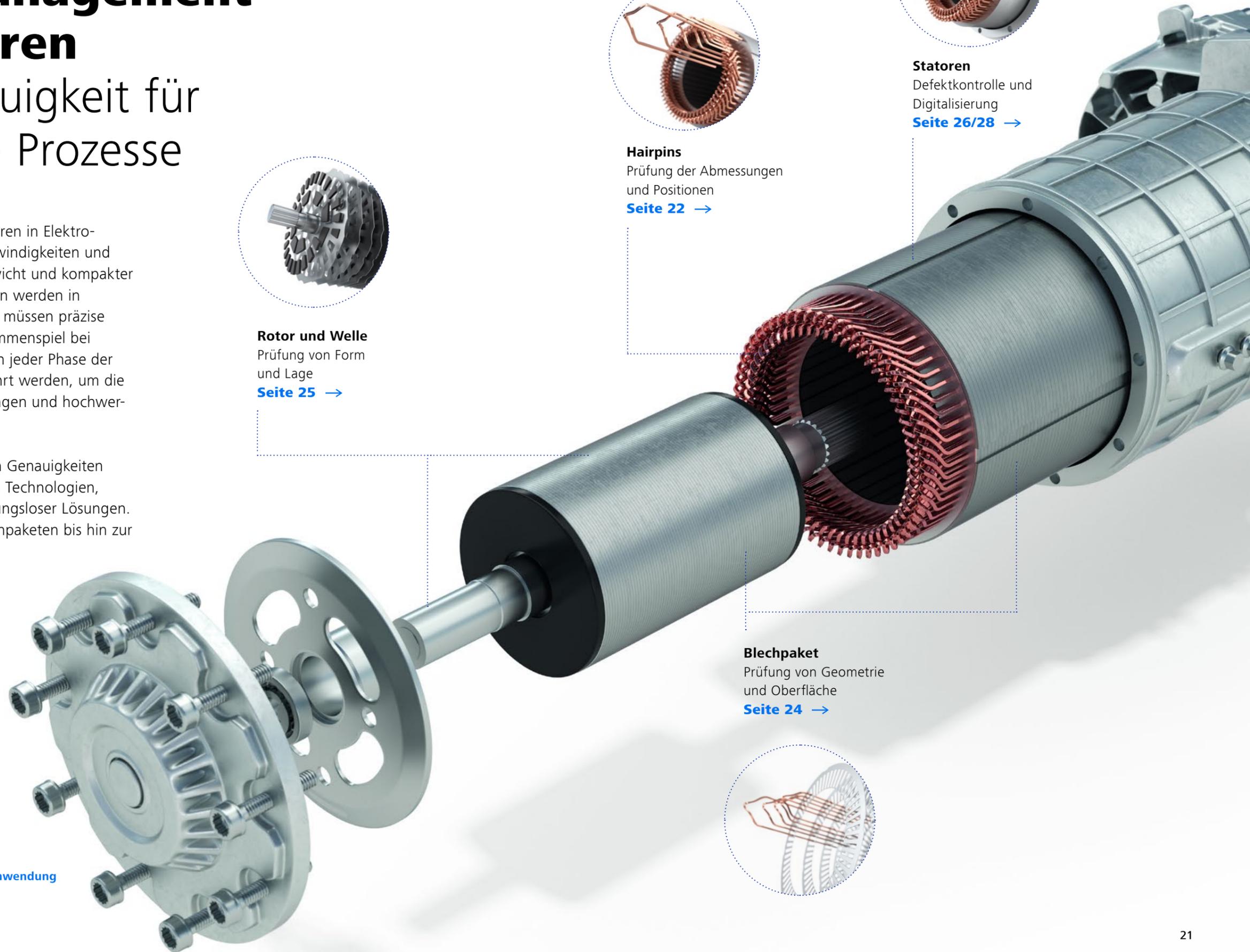
**Hairpins**  
Prüfung der Abmessungen und Positionen  
[Seite 22](#) →



**Statoren**  
Defektkontrolle und Digitalisierung  
[Seite 26/28](#) →



**Blechpaket**  
Prüfung von Geometrie und Oberfläche  
[Seite 24](#) →



## Qualitätssicherung für Hairpins

### Geometrische Prüfung und berührungslose Digitalisierung

Hairpins bestehen aus einem gebogenen rechteckigen Kupferdraht und sind mit einer Isolierschicht überzogen. Da sie sehr verformungsanfällig sind und ihre Enden schwer zu verschweißen sind, müssen die Abmessungen und Positionen der Hairpins während der Statormontage überprüft werden. Diese empfindlichen Komponenten müssen mit berührungslosen Techniken untersucht werden, die eine große Bandbreite an Längen, Winkeln und Querschnitten innerhalb der einzelnen Hairpingeometrien bewältigen können.

#### Geometrische Prüfung und Beschichtungsqualität

##### Herausforderungen

- Jeder Hairpin hat eine flexible Struktur und ist mit einer empfindlichen Lack-schicht überzogen
- Die geometrischen Eigenschaften stellen eine Herausforderung für eine zuverlässige taktile Prüfung dar

##### ZEISS Lösungen

- Präzise Messung von Hairpinform und Lackdicke mit ZEISS KMG und konfokalem Weißlichtsensor oder Lasertriangulationssensor
- Kontrolle der Struktureigenschaften von Hairpins durch berührungslose Messung mit optischen Sensoren auf dem ZEISS KMG



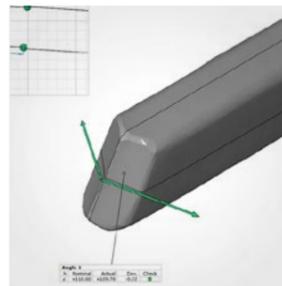
#### Berührungslose Digitalisierung von empfindlichen Strukturen

##### Herausforderungen

- Die extrem empfindlichen Drähte der Hairpins erfordern eine berührungslose und digitale Inspektion
- Vollflächige 3D-Daten sind für die Überprüfung der Hairpingeometrie und -position unerlässlich

##### ZEISS Lösungen

- Ein-Klick-Erfassung von 3D-Freiform-Koordinaten mit der optischen 3D-Messmaschine ZEISS ScanBox for eMotors
- Vollautomatische berührungslose Digitalisierung von empfindlichen Strukturen
- Lasertriangulation ohne Vorbehandlung für schnelle Vollfeld-Digitalisierung über optischen Sensor



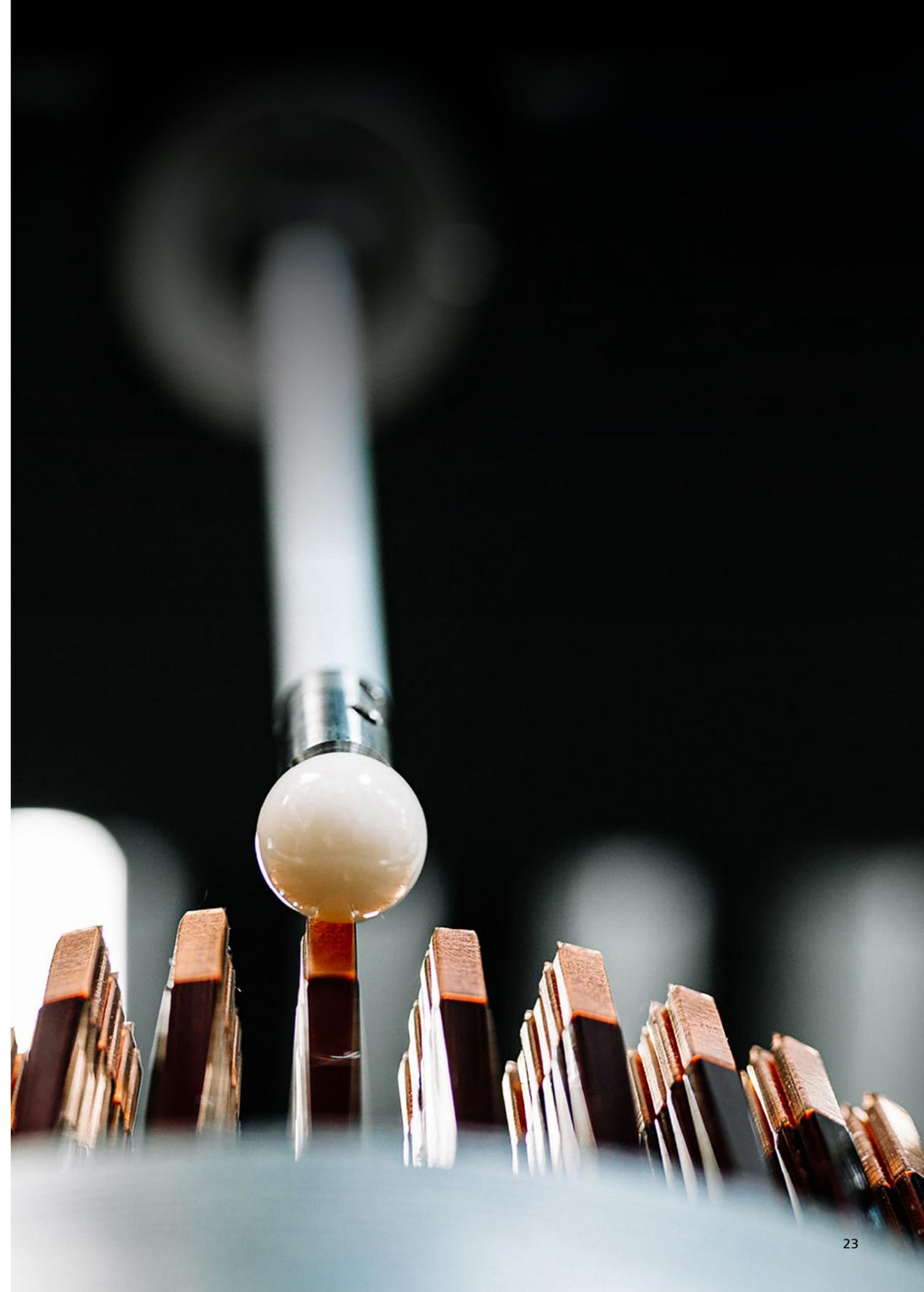
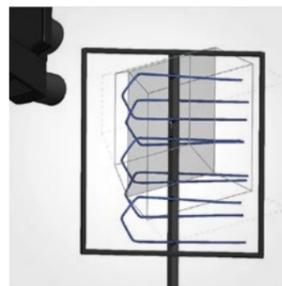
#### Qualifizierung des Biegedesigns von Hairpins

##### Herausforderungen

- Das Hairpin-Design wird nicht allein durch ein CAD-Modell definiert, sondern in zahlreichen Schleifen durch die Konfiguration der Biegeparameter entwickelt
- CAD-Modelle müssen gescannt und hergestellt werden, um fertige Hairpins im Verhältnis zu einem Master-Hairpin zu bewerten

##### ZEISS Lösungen

- Streifenprojektion und Lasertriangulation erzeugen hochauflösende Punktwolken
- ZEISS REVERSE ENGINEERING wandelt diese schnell in hochwertige CAD-Modelle um



## Qualitätssicherung für Blechpakete

### Einzelblechinspektion und Stapelpositionierung

Blechpakete bestehen aus einer Vielzahl von gestanzten oder gelaserten flachen Blechen aus Stahl mit einer Dicke von weniger als 1 mm. Zu den wichtigsten Qualitätsaspekten gehören die Querschnittsschlitzgeometrie für die Hairpins, die Permanentmagnetschlitze sowie der Innen- und Außendurchmesser der Blechpaketanordnung. Da die Toleranzen im Mikrometerbereich liegen, müssen die Bleche flach und gratfrei sein, um eine einwandfreie Leistung des E-Motors zu gewährleisten.

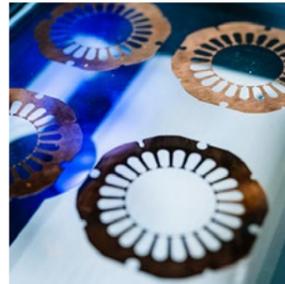
#### Geometrische Inspektion

##### Herausforderungen

- Bewertung der 2D-Geometrie, der Ebenheit und der Gratfreiheit zahlreicher Bleche, um eine ideale Montage des Blechpakets zu gewährleisten
- QS mit mikrometeregenauer Präzision für korrekte Passform und Leistung des E-Motors

##### ZEISS Lösungen

- Automatisierte Palettenmessung durch Kombination von taktilen und optischen Tastern auf den ZEISS Multisensor-KMGs
- Erhöhte Maschinenauslastung und reduzierte Prüfzyklen
- Schnelle und effektive Fehlererkennung im Inneren mit ZEISS X-Ray Solutions



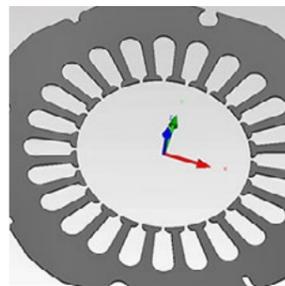
#### Qualität der Montage

##### Herausforderungen

- Die Positionierung der einzelnen Bleche für das Laserschweißen hat einen großen Einfluss auf die Geometrie der Stator- und Rotornuten
- Erforderliche Prüfung von Schlitzmaßen und -positionen sowie Stapelhöhe und -durchmesser nach dem Schweißen

##### ZEISS Lösungen

- Multisensor-KMGs können mit 2D-Kameras und Weißlicht-Konfokalsensoren kombiniert werden, um eine gründliche Prüfung zu ermöglichen
- Vollautomatische Hochgeschwindigkeitsprüfung von Bauteilpaletten



## Qualitätssicherung für Rotor und Welle

### Dimensionelle Messung und Porositätsanalyse

Der Rotor besteht aus der Welle und dem Blechpaket mit eingepressten Permanentmagneten. Aufgrund der hohen Leistung und Geschwindigkeit des E-Motors muss der Rotor sehr enge Form- und Lagetoleranzen einhalten, die eine Prüfung erfordern. Der Luftspalt zwischen dem Rotor und der Statorbohrung ist einer der wichtigsten Parameter, der die Leistung und den Wirkungsgrad des E-Motors bestimmt. Sie ist auch im Hinblick auf Sicherheit und Zuverlässigkeit von entscheidender Bedeutung.

#### Messung der Rotordimensionen

##### Herausforderungen

- Durch das Magnetfeld des Rotors verursachte Ablenkungen können die Ergebnisse beeinträchtigen
- Es ist notwendig lange und schwere Tastersysteme für die Messung von Maßmerkmalen mit engsten Toleranzen zu verwenden

##### ZEISS Lösungen

- ZEISS KMGs mit aktiver Scanning-Technologie sind für diese Anforderungen ideal
- Lange Tasterverlängerungen ermöglichen Messungen an jeder Position des Rotors, wobei der Taster weit genug vom starken Magnetfeld entfernt bleibt, um stabile und genaue Ergebnisse zu gewährleisten



#### Form- und Konturmessung

##### Herausforderungen

- Aufgrund der hohen Drehzahlen müssen die Wellen einer schnellen Qualitätskontrolle unterzogen werden
- Dies gilt insbesondere für die Form- und Lagetoleranzen, die sich mit der Veränderung der Wellengeometrien immer weiter verengen

##### ZEISS Lösungen

- Einhaltung strenger Toleranzen, Minimierung der Durchlaufzeiten und bessere Prognose mit einem ZEISS KMG
- Zuverlässige Ergebnisse für Wellen aller Größen werden im Zusammenspiel von Drehtischen und Diamanttastern erzielt



#### Porositätsanalyse

##### Herausforderungen

- Rotoren müssen eine hohe Festigkeit und Stabilität aufweisen, um die steigenden Geschwindigkeiten der E-Motoren zu bewältigen
- Um zu verhindern, dass der Rotor während des Betriebs bricht, darf ein bestimmter Porositätsgrad nicht überschritten werden

##### ZEISS Lösungen

- Mit Hilfe der Röntgenlösungen von ZEISS wird die Größe und Anzahl der Poren im Kurzschlussring des Rotors bestimmt
- Die ZEISS INSPECT X-Ray software analysiert und klassifiziert dann die rekonstruierten 3D-Daten mit Hilfe der Porositätsanalyse



## Qualitätssicherung für Statoren

### Defektkontrolle und 3D-Messung

Von allen Komponenten der neuesten Generation von Elektromotoren bietet der Stator das größte Potenzial zur Verbesserung von Leistung, Kraft und Effizienz von E-Motoren. Angesichts der Verwendung neuer Rohstoffe und innovativer Fertigungstechnologien ist eine Qualitätssicherung in allen Produktionsschritten des Stators unerlässlich, um die Sicherheit, Zuverlässigkeit und Leistung von E-Motoren zu gewährleisten.

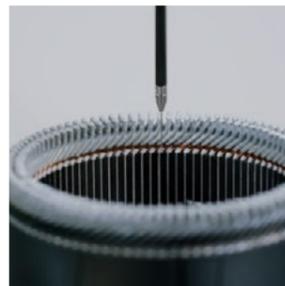
#### Isolationspapier und Hairpin-Position

##### Herausforderungen

- Weil das Isolationspapier und die hochflexiblen Kupfer-Hairpins bei der Statormontage in die Schlitze des Blechpaketes eingeführt werden müssen, sind genaue Maßprüfungen nötig
- Prüfung von Position und Länge des Isolationspapiers zwischen den Hairpins und dem Stator-Kern zur Minimierung des Kurzschlussrisikos

##### ZEISS Lösungen

- Positionierung des Isolationspapiers bei optischem 3D-Scanning und ZEISS KMGs
- Positionsermittlung der Hairpin-Enden mit ZEISS PRISMO und taktilen Sensoren
- Automatisiertes vollflächiges Scannen und Digitalisieren einzelner Hairpins oder kompletter Statoren mit ZEISS ScanBox for eMotors
- Optimale Prozesskontrolle und Zusammenführung der Messergebnisse über die ZEISS Software

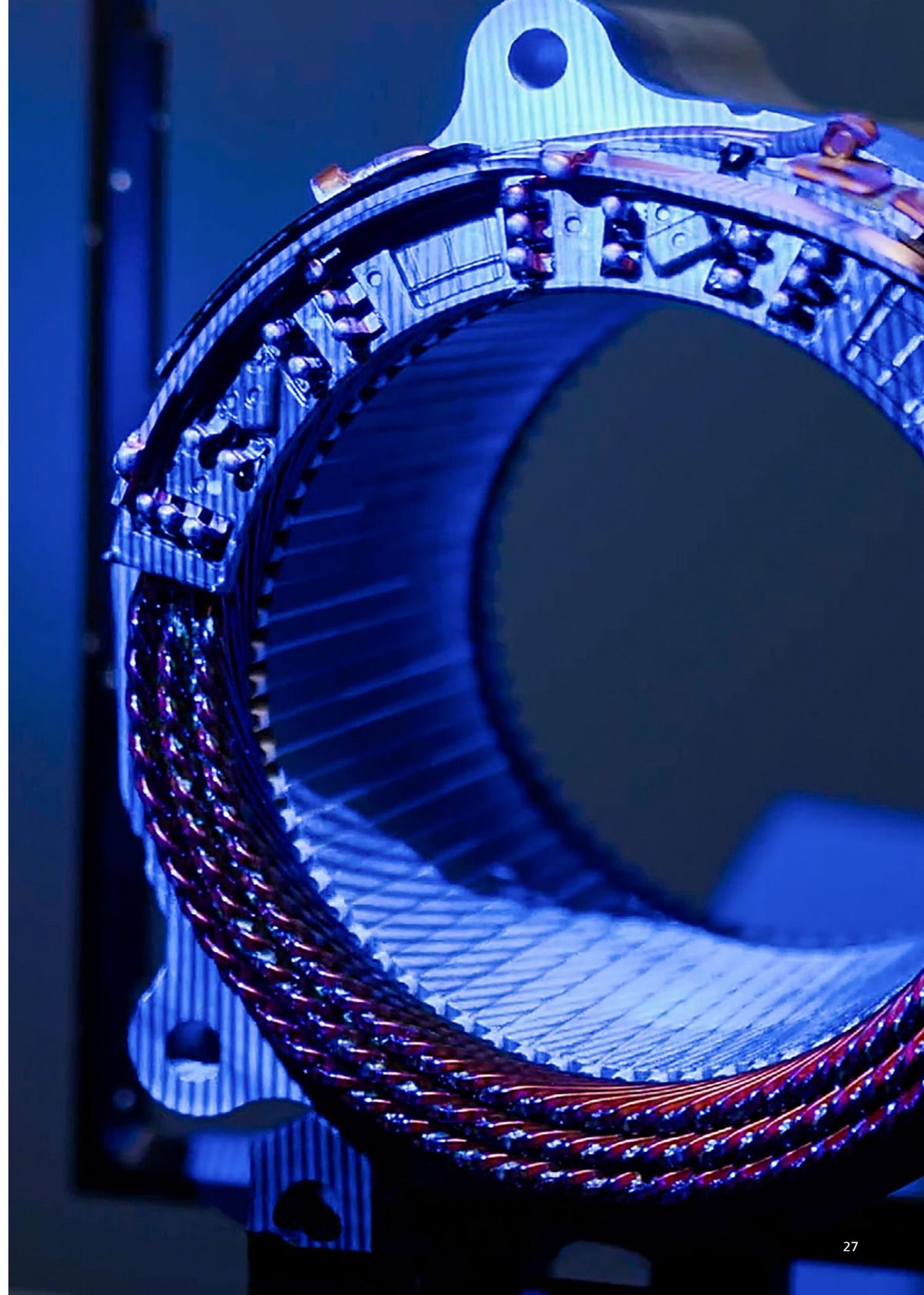
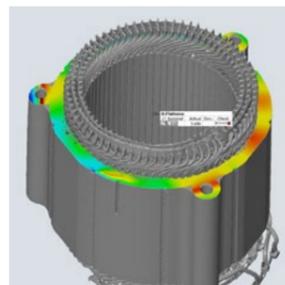


##### Herausforderungen

- Geschweißte Anschlussstellen für die Stromversorgung
- Die Inspektion der Hairpin-Endpositionen vor und nach dem Schweißen ist entscheidend für die Sicherheit, Zuverlässigkeit und Leistung von E-Motoren

##### ZEISS Lösungen

- Mithilfe großflächig angeordneter 3D-Koordinaten erstellt ZEISS ScanBox for eMotors einen vollständigen geometrischen Zwilling in der Software
- Damit lassen sich Abweichungen und Defekte in der Bauteilgeometrie durch den Vergleich mit dem CAD-Modell schnell und reproduzierbar erkennen
- Die automatische Trendanalyse der ZEISS Quality Software lässt Abweichungen vom Idealmodell frühzeitig erkennen



## Qualitätssicherung für Statoren

### Defektkontrolle und 3D-Messung

Um die Sicherheit, Zuverlässigkeit und Leistung des E-Motors zu gewährleisten, muss die Qualitätssicherung in allen Phasen der Statorproduktion aufrechterhalten werden. Eine zerstörungsfreie Prüfung aller Schweißnähte ist erforderlich, um Fehler zu erkennen, die zu einem Leistungsverlust des E-Motors führen können.

#### Schweißnahtinspektion

##### Herausforderungen

- Schweißen kann Lackrückstände verursachen, die Schweißparameter können variieren
- Eine poröse Schweißnaht kann die Leistung des E-Motors beeinträchtigen oder zu einem Totalausfall führen
- Die zerstörungsfreie Fehlerprüfung ist eine wichtige Voraussetzung für alle Schweißnähte

##### ZEISS Lösungen

- Detektion, Lokalisierung, Klassifizierung von Schweißnahtporen und -defekten mit industriellen CT-Lösungen von ZEISS
- Gewährleistet eine zerstörungsfreie Qualitätssicherung und -Überwachung des Schweißens
- KI-gestützte ZEISS Automated Defect Detection (ZADD) Software für automatisierte Prozesse



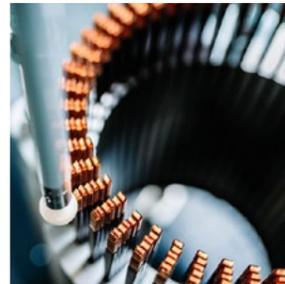
#### Inspektion des Montagevolumens

##### Herausforderungen

- Beim Einbau von Elektromotoren dürfen die Außenabmessungen des Stators den Bauraum im E-Motorgehäuse nicht überschreiten
- Komplexe Geometrien und gemischte Materialien im Stator erschweren die Qualitätskontrolle der gesamten Komponente

##### ZEISS Lösungen

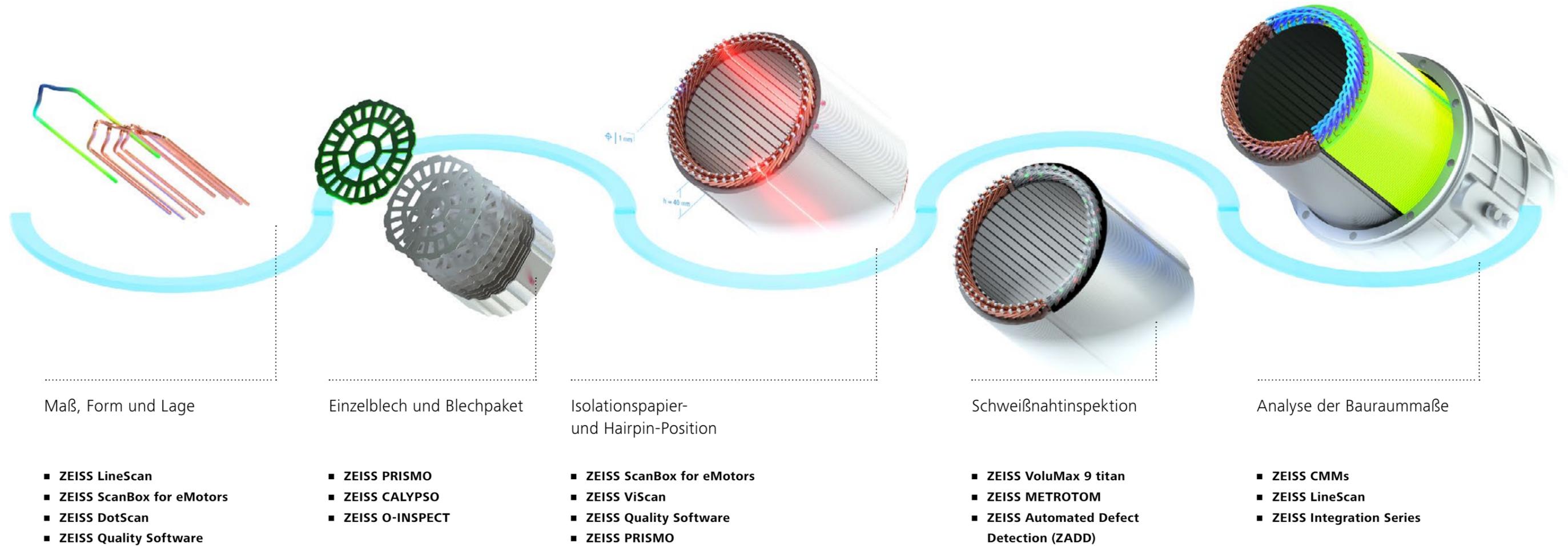
- Automatisches Umschalten zwischen Sensoren über ZEISS KMGs mit ZEISS mass Technologie
- Mit Lasertriangulationssensoren und taktilen Tastersystemen ist eine vollständige Qualitätssicherung des vormontierten Stators möglich
- Automatisierte Inspektion von größeren Stückzahlen: ZEISS Integration Series



## ZEISS eMobility Solutions für jeden Fertigungsschritt

### Blue Line für die E-Motor-Produktion

Das Blue Line Konzept von ZEISS erleichtert den Ablauf der Qualitätssicherung, indem die Herausforderungen ermittelt und ZEISS Lösungen für jeden Fertigungsschritt festgelegt werden, wobei jeder dieser Schritte klar als Quality Gate definiert ist. Die Blue Line Quality Gates decken im Bereich der Elektromotoren das gesamte Spektrum von der geometrischen Inspektion der Hairpins bis zur Analyse der Einbaumaße von Statoren ab.



# Umfassende Lösungen von ZEISS für alle E-Motor-Anwendungsbereiche

Mit **Kenny Zheng**,  
NEV Application Manager bei ZEISS Industrial Quality Solutions

Die dynamische und rasante Entwicklung auf dem Gebiet der Elektromotoren erfordert von den Herstellern die Bewältigung einer ständig wachsenden Anzahl von Anwendungen. Speziell für Statoren sind Verfahren wie dimensionelle Messtechnik, Defektinspektion und Bauteildigitalisierung erforderlich. ZEISS ist das einzige Unternehmen, das für alle relevanten Technologien passende Lösungen anbietet. Das umfassende Portfolio von ZEISS ermöglicht den Herstellern die Bewältigung aller Herausforderungen.

*“ Das umfassende ZEISS Portfolio in diesem sich schnell entwickelnden Bereich ist immer am Puls der Zeit. “*

Beim Zusammenbau von Statoren müssen Hersteller die einzelnen Hairpins und den verfügbaren Einbauraum exakt vermessen. „Koordinatenmessgeräte von ZEISS steigern durch ihre effiziente und flexible Leistung die Messproduktivität“, so Kenny Zheng, NEV Application Manager bei ZEISS Industrial Quality Solutions.

ZEISS PRISMO und ZEISS CONTURA sind zwei KMGs, die zur Bestimmung der Geometrie von Hairpins mit dem optischen Sensor ZEISS LineScan kombiniert werden können. Durch die anschließende detaillierte Analyse und Visualisierung der Ergebnisse mit der ZEISS Quality Software werden eine optimale Produktion und Passgenauigkeit gewährleistet. Das nahtlose Zusammenwirken von Hard- und Software ist ein weiteres Qualitätsmerkmal des ganzheitlichen ZEISS Portfolios.

Bei der Fehlerprüfung von Statoren mit dem zerstörungsfreien CT-System ZEISS VoluMax 9 titan mit 450 kV-Leistung werden besonders detaillierte Ergebnisse erzielt. Mit der hohen Durchdringungskraft des ZEISS VoluMax 9 titan wird die Zykluszeit während dieser Aufgabe stark verkürzt und trägt zu einer höheren Effizienz bei.

Entscheidend ist, so Zheng, dass „diese Geschwindigkeit nicht zu Lasten der Qualität geht.“ Die mit dem ZEISS VoluMax 9 titan erzeugten Scans können mit der ZEISS INSPECT X-Ray Software für Präzisionsaufgaben wie Schweißnahtprüfung ausgewertet werden. Mit der Fehlererkennung durch trainierte KI-Modelle erkennt die App ZADD Segmentation auch bei unzureichender Bildqualität zuverlässig und schnell kleine und unauffällige Defekte in Bauteilen. Die ZEISS Lösungen sorgen für mehr Effizienz durch schnellere CT-Scans, präzisere Prüfungen und deutlich kürzere Zykluszeiten.

„Auch bei der Digitalisierung und vollautomatischen Inspektion ist Effizienz die treibende Kraft“, sagt Zheng. Zunächst erfasst die ZEISS ScanBox for eMotors schnell und präzise 3D-Messdaten und scannt den Stator automatisiert und vollständig mit dem integrierten 3D-Sensor ZEISS ATOS Q. Zur optimalen Nutzung der Daten werden diese anschließend mit der in der ZEISS Quality Suite verfügbaren Inspektionssoftware visualisiert und analysiert. Die Software bietet zahlreiche Funktionen. So lässt sich beispielsweise ein vollständiger geometrischer digitaler



Zwilling erstellen, der einen Vergleich des Bauteils mit seinem 3D-Modell ermöglicht, um eventuelle Defekte schnell und reproduzierbar zu erkennen. Zheng betont auch, wie wichtig die Trendanalyse ist, „um Abweichungen frühzeitig zu erkennen und sicherzustellen, dass der Fertigungsprozess stets reibungslos verläuft.“

Ob Statoren, Blechpakete und mehr – nur ZEISS bietet umfassende QS-Lösungen für alle E-Motor-Anwendungsbereiche. Hersteller profitieren von schnelleren Zykluszeiten, effizienteren Prozessen und einer nahtlosen Interaktion zwischen Hardware und Software. Für Zheng ist „das umfassende ZEISS Portfolio in diesem sich schnell entwickelnden Bereich immer am Puls der Zeit.“

ZEISS Quality Suite

ZEISS VoluMax

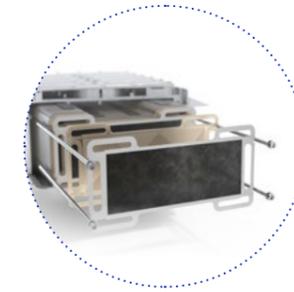
ZEISS KMGs

# Qualitätsmanagement von Brennstoffzellensystemen

## Präzisionsprüfung einzelner Komponenten

Mit einer Bipolarplatte (BPP) und einer Membran-Elektroden-Einheit (MEA) ist jede Brennstoffzelle im Stapel in Reihe geschaltet und damit entscheidend für die Gesamtsystemqualität. Um die Einhaltung strenger Anforderungen zu gewährleisten, müssen mögliche Oberflächenfehler wie Verschmutzungen und die Schweißnaht überprüft werden.

ZEISS eMobility Solutions helfen dabei, Qualitätsanforderungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Produktion von Brennstoffzellensystemen zu erfüllen. Hardware und Software arbeiten dabei ideal zusammen, um klare komponentenbezogene Berichte zu erstellen.



**Membran-Elektroden-Einheit**  
Membran- und Elektrodeninspektion

[Seite 38](#) →

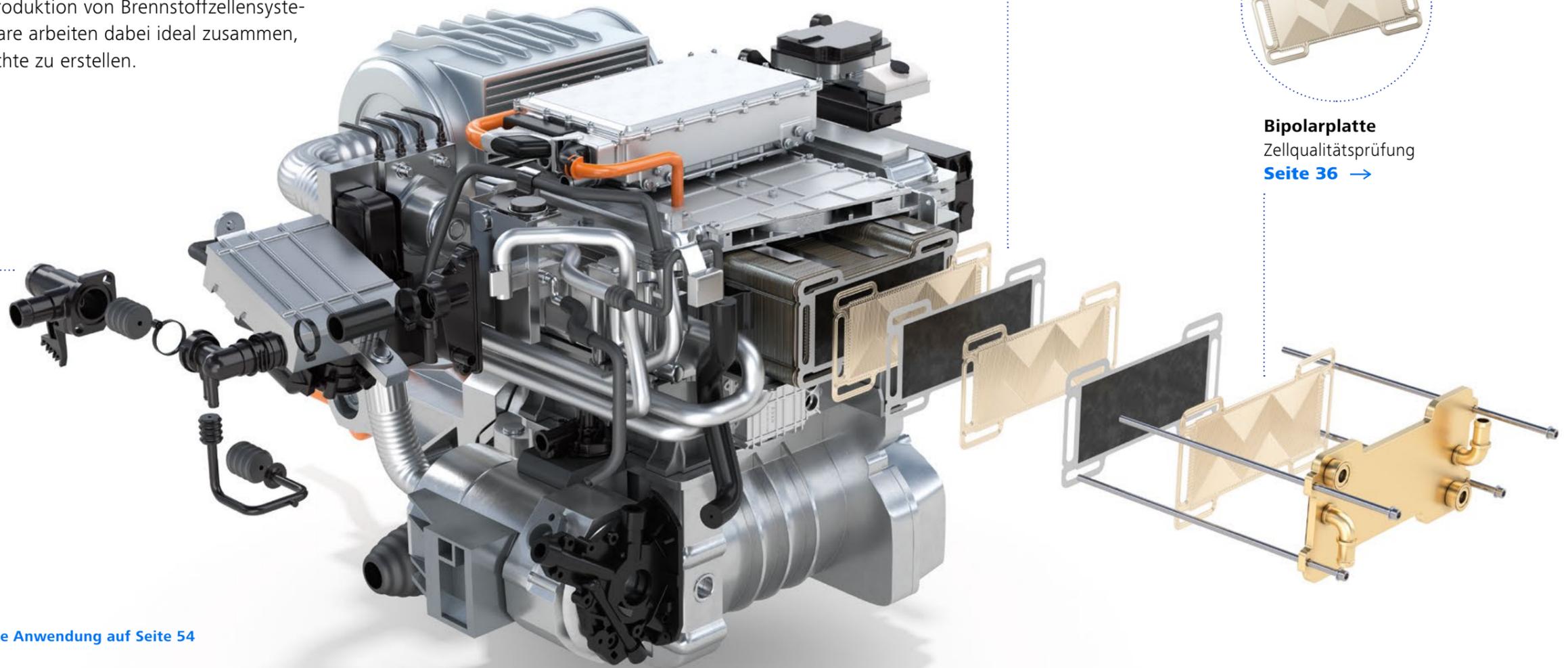


**Bipolarplatte**  
Zellqualitätsprüfung

[Seite 36](#) →

**Peripheriekomponenten**  
Bauteilqualitätsprüfung

[Seite 40](#) →



→ Finden Sie das perfekte Produkt für Ihre Anwendung auf [Seite 54](#)

## Qualitätssicherung von Bipolarplatten

### Zellqualitätsprüfung

Typischerweise befinden sich mehr als hundert einzelne Brennstoffzellen in einem einzigen Stapel. Die effiziente Erzeugung elektrischer Energie hängt von der Qualität jeder einzelnen Zelle ab. Die Bipolarplatte sorgt für mechanische Stabilität, die den Fluss von Gasen und Kühlflüssigkeiten sowie die elektrische Verbindung zwischen benachbarten Zellen in der Serie gewährleistet.

#### Formen der Mikrostruktur und Zuschneiden von Bipolar-Halbplatten

##### Herausforderungen

- Aufrechterhaltung eines ungehinderten Gas- und Kühlmittelflusses durch speziell entwickelte Mikrostrukturen
- Gratbildung muss erkannt werden, um die Qualität zu erhalten
- Die Maßhaltigkeit von Außenkonturen, Vertiefungen und geometrischen Elementen muss für die Stapelausrichtung gewährleistet sein

##### ZEISS Lösungen

- Chromatische konfokale Weißlichtmessung mit ZEISS DotScan an einem ZEISS KMG
- Tiefenscharfe 3D-Schliffbilder mit ZEISS Microscopy Solutions
- Ideale Vorbereitung für das Fügen und Stapeln von Platten durch optische Konturmessung mit ZEISS O-INSPECT



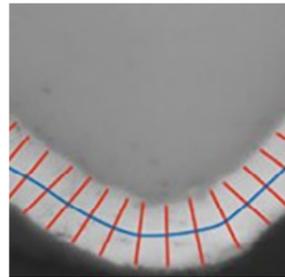
#### Beschichtung der Bipolar-Halbplatten

##### Herausforderungen

- Die Beschichtung der Platten ist für den Korrosionsschutz unerlässlich und muss auf Risse, Blasen und andere Defekte untersucht werden
- Dünne Stahlschicht auf BPP birgt das Risiko von Oberflächendefekten, die die Effizienz beeinträchtigen oder einen Totalausfall verursachen können

##### ZEISS Lösungen

- Optische Inspektion und Schichtdickenmessung mit Bildern des ZEISS Axio Imager
- Automatisierte hochauflösende Aufnahme und Auswertung mit Multisensor-Messgerät
- Quantifizierung der Rauheit und Topografie von beschichteten Platten im Nanometerbereich



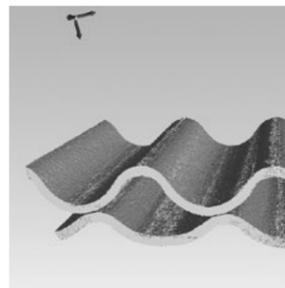
#### Verschweißen der Bipolarplatten

##### Herausforderungen

- Seitliche Ausrichtung der einzelnen Platten und Gesamthöhe sind für den ordnungsgemäßen Betrieb unerlässlich
- Sicherstellung eines ungehinderten Gas- und Kühlmittelflusses, Einhaltung der Zellstapeltoleranzen und der Effizienz der Brennstoffzelle
- Die Bipolarplatte wird aus zwei geschweißten Einzelhalbplatten gebildet, wobei die Schweißnaht für die Leitfähigkeit und mechanische Stabilität entscheidend ist

##### ZEISS Lösungen

- Beidseitige Erfassung der 3D-Struktur mit ZEISS DotScan auf einem ZEISS KMG
- Zerstörungsfreies 3D-Scannen zur Bewertung der 3D-Geometrie, einschließlich seitlicher Ausrichtung und Dickenabweichungen
- Detaillierte und genaue hochauflösende 3D-Daten mit Hilfe industrieller Computertomographie (CT) oder ZEISS Versa Röntgenmikroskop



## Qualitätssicherung der Membran-Elektroden-Einheit

### Membran- und Elektrodeninspektion

Eine chemische Reaktion in der Membran-Elektroden-Einheit (MEA) ist die Quelle der elektrischen Energie im Stapel. Auf jeder Seite der MEA sind zwei Elektroden angeordnet, in denen die jeweiligen Katalysatoren untergebracht sind. Diese Elektroden werden auf beiden Seiten der Membran (CCM) bzw. auf der jeweiligen Gasdiffusionsschicht (CCL) aufgebracht.

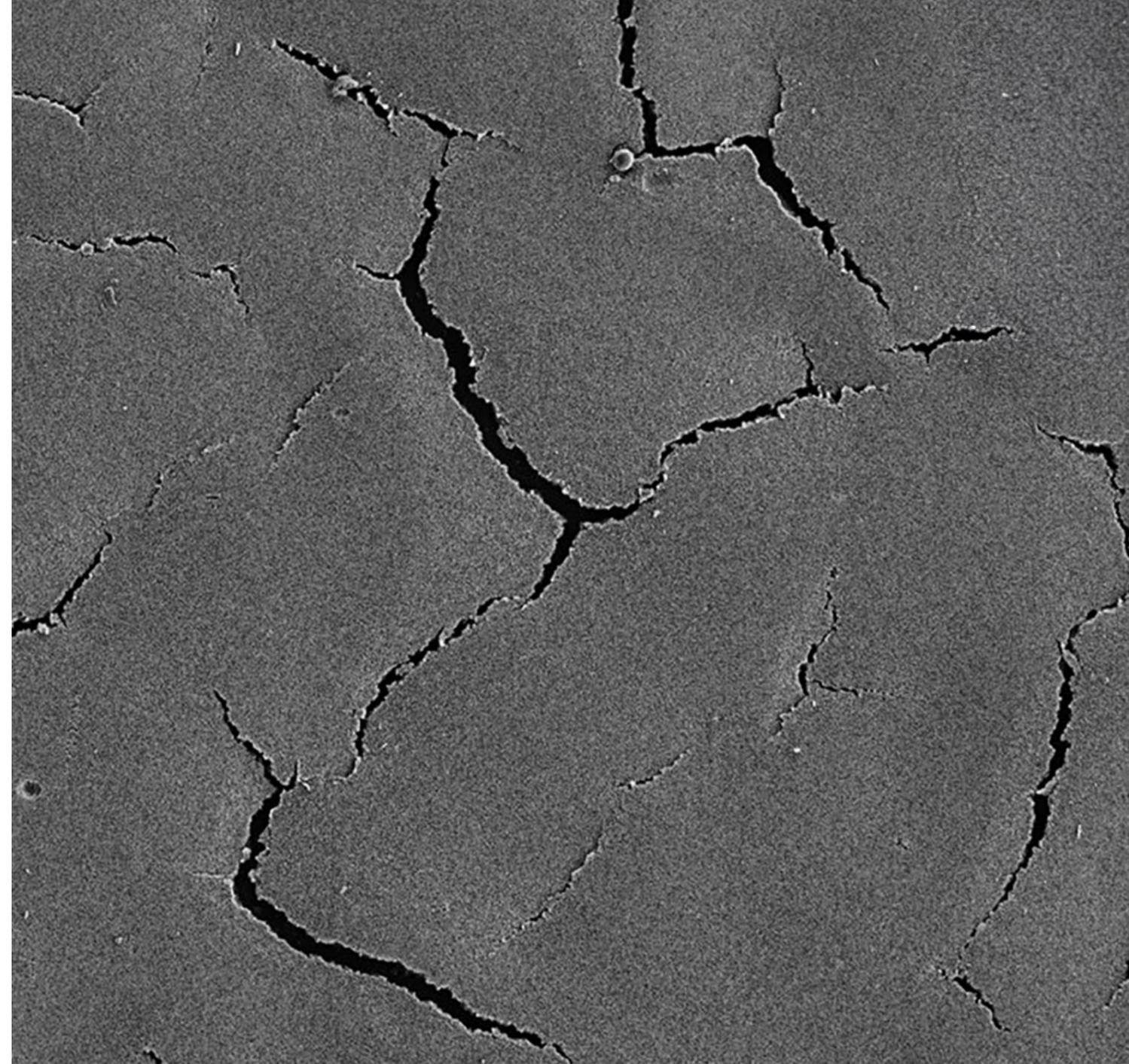
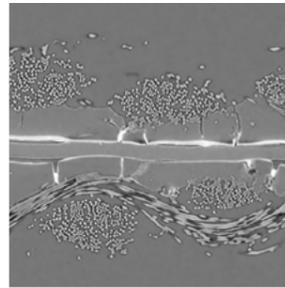
#### MEA Stapelung

##### Herausforderungen

- Vermeidung von Verunreinigungen, um Funktion, Qualität und Lebensdauer der Brennstoffzelle zu gewährleisten
- Sicherstellung konsistenter MEA-Schichten und -Eigenschaften durch Prüfung von Probenabschnitten
- 3D-Volumenanalyse für Prozessentwicklung und Fehlerverständnis
- Vollständige Prüfung aller MEAs auf Beschichtungsfehler, um Leistungsabfall zu vermeiden

##### ZEISS Lösungen

- Partikel werden mit dem ZEISS Axio Zoom V.16 Mikroskop identifiziert, mit Elektronenmikroskopie analysiert und mit ZEISS Software verarbeitet
- Erfassen der Größe, Form, Menge, Zusammensetzung, Herkunft und den Metallgehalt von Partikeln > 5 µm
- Analyse der Schichtkontinuität und -dicke mit dem ZEISS Axio Imager
- Zerstörungsfreie 3D-Volumenerfassung mit dem Röntgenmikroskop ZEISS Versa und seiner zweistufigen Vergrößerung



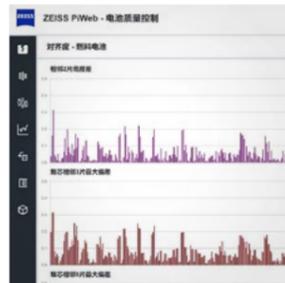
#### Endgültige Stapelung der Brennstoffzellen

##### Herausforderungen

- Überwachung gestapelter Brennstoffzellen (BPPs und MEAs) zur Sicherstellung der Konsistenz der Brennstoffzellen-Stapelschichten und ihrer Eigenschaften
- Verbessern der Prozessentwicklung und des Verständnisses von Defekten durch 3D-Volumenanalyse

##### ZEISS Lösungen

- Analysieren von kleinen Proben mit Röntgentechnologie, um die Kontinuität der Schichten sicherzustellen
- Analysieren von Stapelgeometrien und -ausrichtung mit dem berührungslosen konfokalen Weißlicht-Sensor ZEISS DotScan auf einem ZEISS KMG



#### Beschichtung und Schneiden von Schichten

##### Herausforderungen

- Ultradünne Elektrodenschichten müssen auf Risse, Blasen, Partikelkontamination und Inhomogenität untersucht werden
- Position und Ausrichtung der einzelnen Schichten beeinflussen die Energieumwandlungseffizienz in der Brennstoffzelle
- 2D-Geometrieanalyse muss an einzelnen Schichten durchgeführt werden, um die Abmessungen von Kanten und Vertiefungen zu bestimmen
- Vollständig defektfreie MEA erforderlich, um die volle Leistung zu entwickeln

##### ZEISS Lösungen

- Rissanalyse mit Licht- und Rasterelektronenmikroskopen
- Bestimmung von Größe und Position der Aussparung sowie des Beschichtungsrandes im Verhältnis zur Referenzkante
- Einfache Messung dieser Merkmale mit optischer Kantendetektionstechnologie und integrierter Hintergrundbeleuchtung der optischen Messtechnik
- Bildaufnahme und Fehlererkennung mit ZEISS O-INSPECT duo



## Qualitätssicherung von Peripheriekomponenten Bauteilqualitätsprüfung

Neben dem Brennstoffzellenstapel sind viele Komponenten systemrelevant. Wasserstoff für die chemische Reaktion wird über ein Rohrleitungssystem transportiert. Sauerstoff wird aus der Umgebungsluft gewonnen und mit Pumpen, Filtern und mehr behandelt. Die Effizienz von Brennstoffzellensystemen hängt von der hohen Bauteilqualität ab.

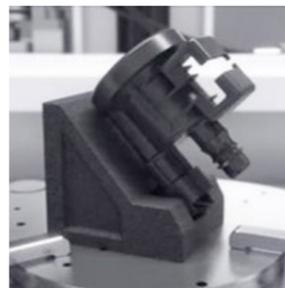
### Stack Baugruppe

#### Herausforderungen

- Die einzelnen BPP und MEA Einheiten werden im Stack zu einem dichten Zellstapel gepackt
- Die Geometrien der Strukturbauteile sind entscheidend für die Druckverteilung im Stack während des Betriebs

#### ZEISS Lösungen

- Erkennen von Defekten, Poren oder Einschlüssen im Gussgefüge mit ZEISS CT zur Sicherung der Bauteilqualität
- Messen und Bewerten von bearbeiteten Verbindungsflächen mit taktiler und optischer Koordinatenmesstechnik



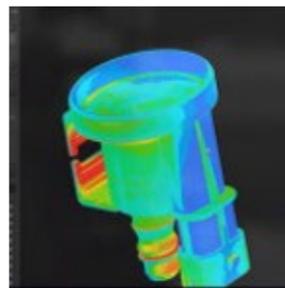
### Medienführende Komponenten

#### Herausforderungen

- Komplexe Rohrsysteme versorgen den Brennstoffzellenstapel mit Wasserstoff und Sauerstoff und leiten außerdem Kühlwasser ab
- Bauteilgeometrie und Materialeigenschaften sind sehr wichtig für die Funktionsfähigkeit und Haltbarkeit des gesamten Systems

#### ZEISS Lösungen

- Erfassen von 3D-Daten spritzgegossener Komponenten für optimale Eigenschaften
- Nutzung der 3D-Daten zur Erkennung von Fehlern im Inneren mit ZEISS Software
- Anzeige und Messung aller Stärken und Berechnung eines vollständigen Soll-Ist-Vergleichs mit dem CAD-Modell



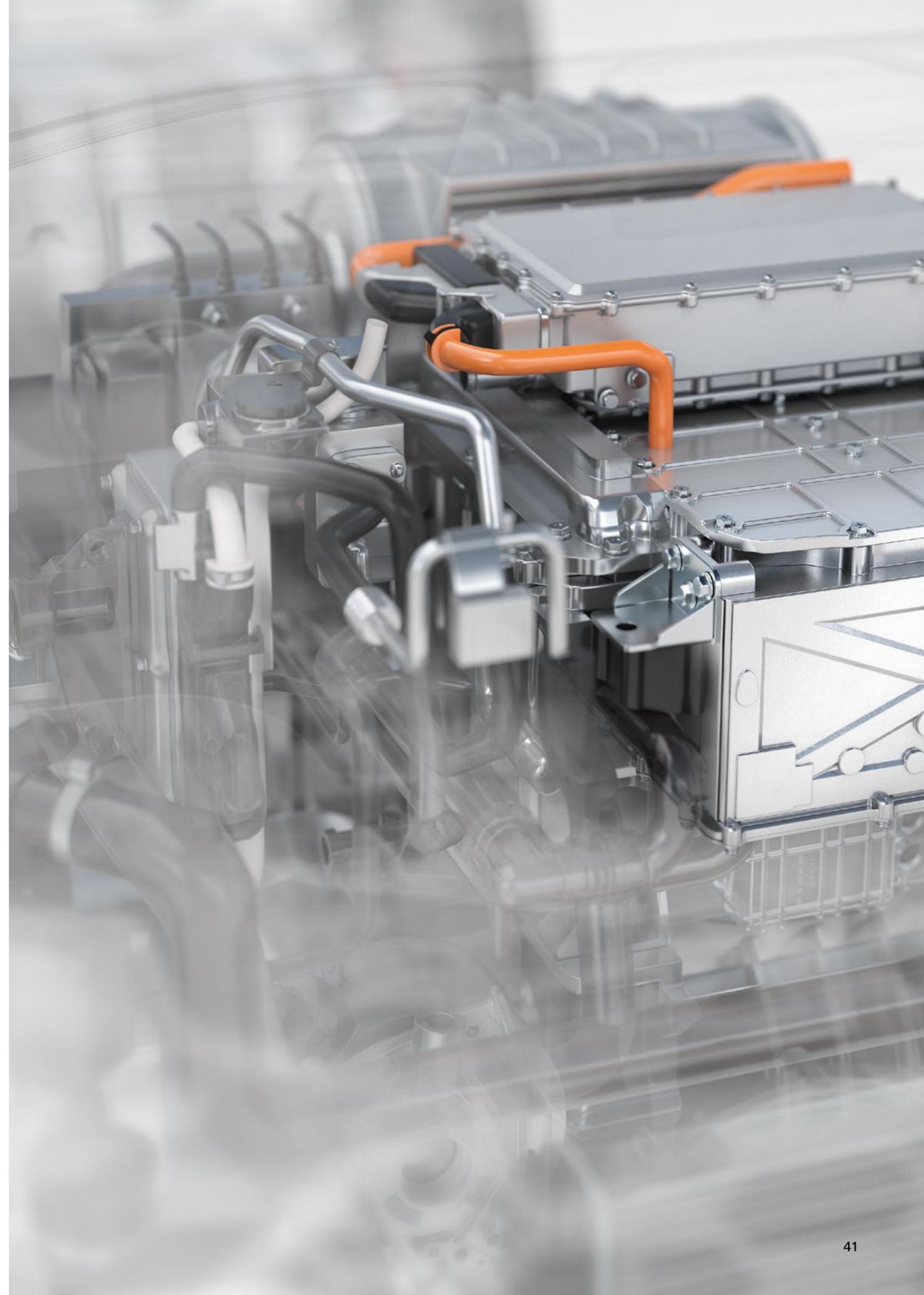
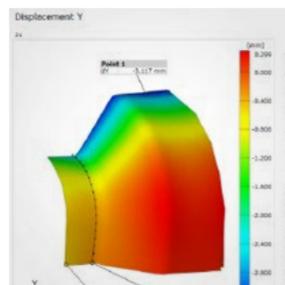
### Kompressoren und Pumpen

#### Herausforderungen

- Kompressoren, Pumpen und Wasserabscheider tragen zur Aufrechterhaltung der richtigen Bedingungen für Wasserstoff und Luft bei
- Dies ist von entscheidender Bedeutung für den ordnungsgemäßen Ablauf der chemischen Reaktionen und des Transportvorgangs

#### ZEISS Lösungen

- Überprüfung der Abmessungen auf Größe, Form und Position mit optischen und taktilen Sensoren auf einem ZEISS KMG
- Geeignet für Dichtflächen, Lagergehäuse und andere geometrische Elemente

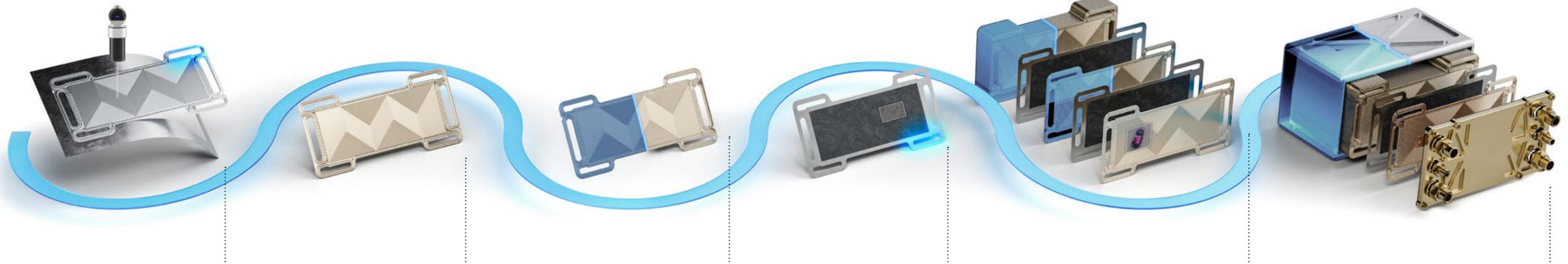


## ZEISS eMobility Solutions unterstützt bei jedem Fertigungsschritt

### Blue Line für das Brennstoffzellensystem

Das Blue Line Konzept von ZEISS erleichtert den Ablauf der Qualitätssicherung, indem Herausforderungen ermittelt und ZEISS Lösungen für jeden Schritt im Produktionsprozess festgelegt werden, wobei jeder dieser Schritte klar als Quality Gate definiert ist.

Die Blue Line Quality Gates decken im Bereich der Brennstoffzellensysteme das gesamte Spektrum von der Entwicklung der Mikrostruktur bis zur endgültigen Stapelung der Brennstoffzelle ab.



Formen der Mikrostruktur und  
Zuschneiden von Bipolar-Halbplatten

- ZEISS DotScan
- ZEISS Axio Imager 2
- ZEISS O-INSPECT

Beschichtung  
der Bipolar-Halbplatten

- ZEISS Axio Imager 2
- ZEISS O-INSPECT duo

Verschweißen  
der Bipolarplatten

- ZEISS CMMs
- ZEISS METROTOM
- ZEISS DotScan
- ZEISS Versa

Beschichtung und  
Schneiden von Schichten  
der MEA

- ZEISS Axio Imager 2
- ZEISS O-INSPECT
- ZEISS GeminiSEM

MEA Stapelung

- ZEISS Axio Imager 2
- ZEISS O-INSPECT duo
- ZEISS Axio Zoom V.16
- ZEISS Versa

Endgültige Stapelung  
der Brennstoffzellen

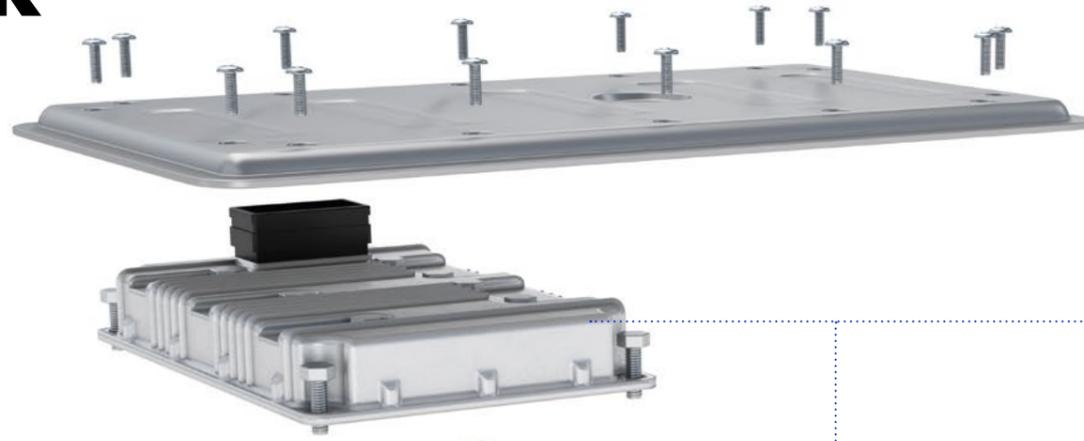
- ZEISS CMMs
- ZEISS X-Ray Solutions
- ZEISS DotScan

# Qualitätsmanagement in der Leistungselektronik

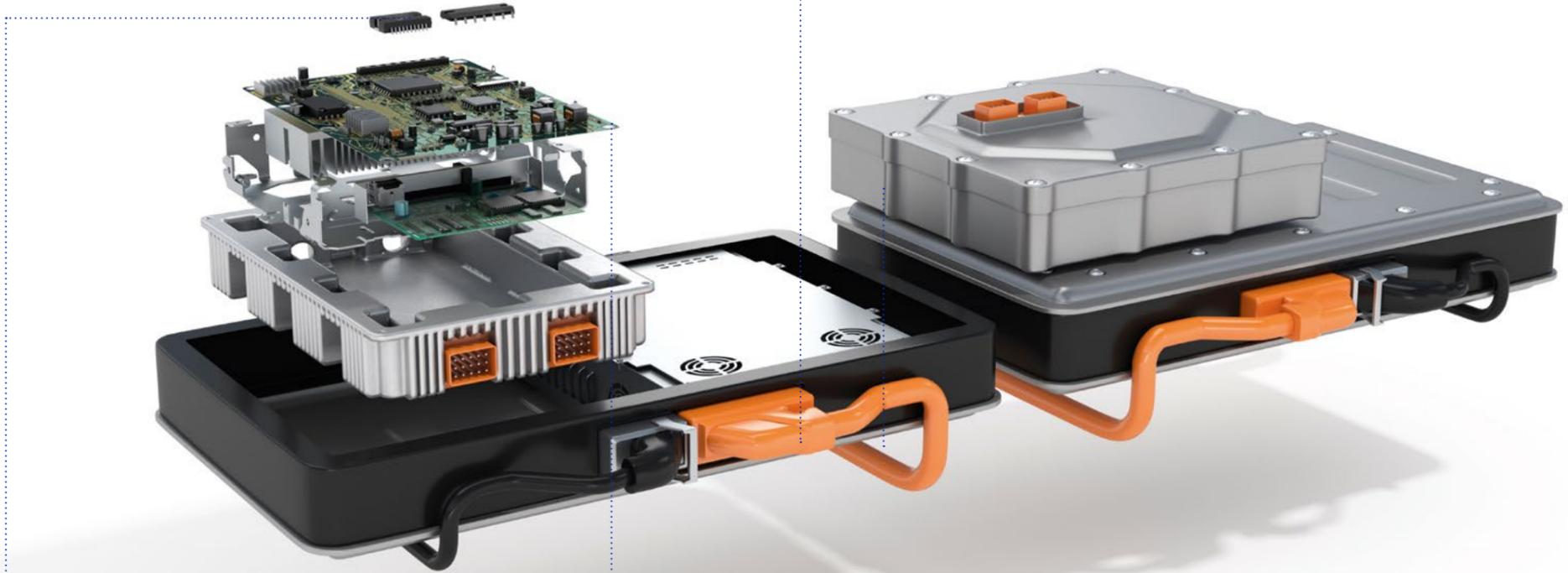
## Präzise Messung für zuverlässigen Stromfluss

Die Fahrzeugelektronik steuert den Stromfluss zwischen Batterie und Elektromotor. Sie ist die Energiezentrale in Fahrzeugen mit Batterie-, Hybrid- oder Brennstoffzellenantrieb. Um die Anforderungen an Effizienz und Zuverlässigkeit elektronischer Komponenten zu erfüllen, muss die Qualitätskontrolle von Halbleiterkomponenten, Leiterplatten und fertigen Modulen in den relevanten Dimensionen erfolgen.

ZEISS bietet speziell für die Fahrzeugelektronik Messlösungen im Mikrometerbereich. Das Portfolio umfasst Elektronen- und Röntgenmikroskope für hochpräzise, berührungslose Messungen, taktile Messverfahren und die automatisierte Bildverarbeitung.



**Gehäuse und Steckverbinder**  
Guss, Spritzguss und Leitfähigkeit  
[Seite 48](#) →



**Halbleiterkomponenten**  
Fehlersuche und Stromversorgung  
[Seite 46](#) →



**Leiterplatten**  
Qualitätskontrolle und Fehleranalyse  
[Seite 47](#) →



→ Finden Sie das perfekte Produkt für Ihre Anwendung auf [Seite 54](#)

## Qualitätssicherung für Halbleiterkomponenten

### Fehlersuche und Stromversorgung

Das Fahrverhalten eines Elektrofahrzeugs wird durch eine zunehmend komplexere Konfiguration des elektronischen Steuersystems bestimmt. Die Fahrzeuge werden immer leistungsfähiger und effizienter und können Daten von externen Sensoren, Rückmeldungen vom Elektromotor und Telemetrie aus der Ferne verarbeiten. Die Daten ergänzen die Fahrereingaben und ermöglichen ein sicheres, effizientes und komfortables Fahren. Mit der rasanten Entwicklung und den gestiegenen Anforderungen an die Halbleiterkomponenten hat sich auch die Qualitätssicherung verändert.

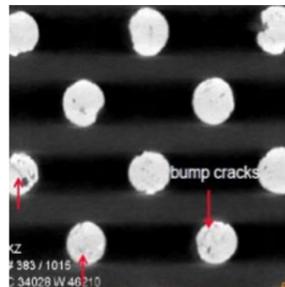
### Motorsteuerung und Gate-Treiber

#### Herausforderungen

- Die Entwicklung, Fertigung und Qualitätskontrolle von integrierten Halbleiterschaltungen erfordert zahlreiche mikroskopgestützte Arbeitsabläufe
- Notwendigkeit einer detaillierten Fehleridentifizierung und einer hochauflösenden, kontrastreichen Bildgebung

#### ZEISS Lösungen

- Die GeminiSEM-Technologie von ZEISS bietet eine einzigartige Kombination aus Materialkontrast, Auflösung und Strahlstabilität
- Die ZEISS Röntgenmikroskopie erkennt Fertigungsfehler in Halbleitergehäusen
- Zerstörungsfreie Erkennung möglicher Defekte wie Delaminierung und Risse in elektrischen Kontakten



### Fahrzeugelektronik

#### Herausforderungen

- Leistungsstarke Schaltgeräte sind die Schlüsseltechnologie für die kontrollierte Energieübertragung von der Batterie zum Elektromotor
- Beispiele: Bipolartransistor mit isoliertem Gate (IGBT), Metalloxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor (MOSFET)
- Konstruktion und Analyse erfordern die Abbildung ihrer Merkmale

#### ZEISS Lösungen

- Darstellung von Elektrik- und Materialeigenschaften mit räumlicher Auflösung im Submikrometerbereich durch analytische Elektronenmikroskopie von ZEISS
- Zur Konstruktionsoptimierung und verbesserten Fehleranalyse relevanter Schaltelemente
- Die optische 3D-Messtechnik ermöglicht die detaillierte Analyse des thermomechanischen Verformungsverhaltens von elektrischen Bauteilen wie IGBTs durch die Kombination von 3D-Verformungsdaten mit Thermografiedaten

## Qualitätssicherung für Leiterplatten

### Qualitätskontrolle und Fehleranalyse

Größere Stückzahlen, höhere Integrationsdichte und raue Umgebungsbedingungen wie Temperatur und Schwingungen erfordern eine umfassende Qualitätskontrolle und Fehleranalyse elektronischer Komponenten. Das gilt insbesondere für New Energy Vehicles und autonome Fahrzeuge, deren Fahrzeugelektronik von zentraler Bedeutung für die Verkehrssicherheit ist.

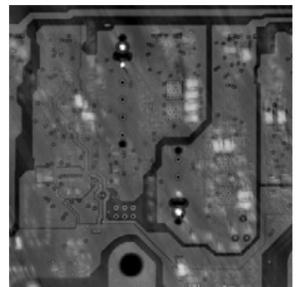
### Qualitätskontrolle und Fehleranalyse

#### Herausforderungen

- Prüfung kritischer Abmessungen, der Oberflächenrauheit und -topographie und der Partikelkontamination
- Automatisierte Inspektion für eine höhere Teileproduktion bei gleichzeitiger Erfüllung hoher Qualitätsanforderungen

#### ZEISS Lösungen

- Röntgen- und/oder optische Technologien unterstützen die zerstörungsfreie Prüfung und Fehleranalyse von Leiterplatten (PCB).
- Erkennen von Qualitätsdefiziten und Steuerung der Fehleranalyse zur Ermittlung der Fehlerursache
- Dimensions-, Rauheits-, Topographie- und Kontaminationsprüfung mit hochauflösender 2D- und 3D-Bildverarbeitung, Analyse und optischer Messtechnik von ZEISS
- ZEISS ARAMIS kann Informationen über das Verformungsverhalten der gesamten Leiterplatte liefern



## Qualitätssicherung für Gehäuse und Steckverbinder

### Guss, Spritzguss und Leitfähigkeit

Für die Sicherheit und Zuverlässigkeit des Batteriepacks ist das Gehäuse der elektronischen Fahrzeugkomponenten entscheidend. Das Gehäuse schützt die Batterieelektronik vor äußeren Einflüssen wie Vibration, Feuchtigkeit und Temperaturschwankungen, die die Ausfallsicherheit erheblich beeinträchtigen können. Auch die mit den Batteriemodulen verbundenen Steckverbinder müssen solchen äußeren Einflüssen standhalten, damit bei jedem Gebrauch des Fahrzeugs eine leichte und sichere Verbindung gewährleistet ist.

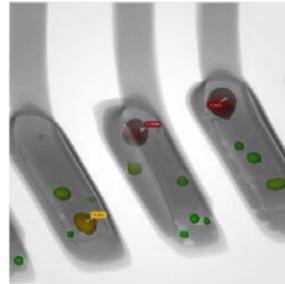
#### Guss-Inspektion und Dimensionen

##### Herausforderungen

- Dünnwandige Bauteile aus Aluminiumdruckguss sind robust, leicht, materialsparend und präzise zerspanbar
- Dichtungsflächen erfordern die Einhaltung enger Toleranzen hinsichtlich Ebenheit und Rauheit
- Die Position des Steckverbinders ist entscheidend für die langlebige und zuverlässige Funktion des elektrischen Kontakts

##### ZEISS Lösungen

- KMGs von ZEISS erfüllen die Messanforderungen an Geometrie und Rauheit
- Prüfung aller Merkmale, für die enge Toleranzen gelten
- Beispielsweise Ebenheit und Rauheit von Dichtungsflächen und die Position von Steckverbindern



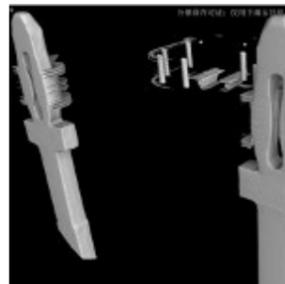
#### Spritzguss und Leitfähigkeit

##### Herausforderungen

- Das Spritzgussverfahren ist das am häufigsten eingesetzte Verfahren zur Herstellung von Anschlussgehäusen aus Mischkunststoffen
- Durch die vielen Anschlüsse im Fahrzeug ist es ein komplexes und sehr schnelles Verfahren
- Die Überprüfung jedes Pins gewährleistet die Funktionsfähigkeit des elektrischen Kontakts

##### ZEISS Lösungen

- Schnelle Messung, Visualisierung und Analyse einer großen Anzahl von Steckern mit Röntgen-Lösungen von ZEISS
- Taktile oder optische Messungen von Bauteilen mit kleinen Pingrößen und komplexen Geometrien
- Erkennung von Defekten im Spritzgussbereich

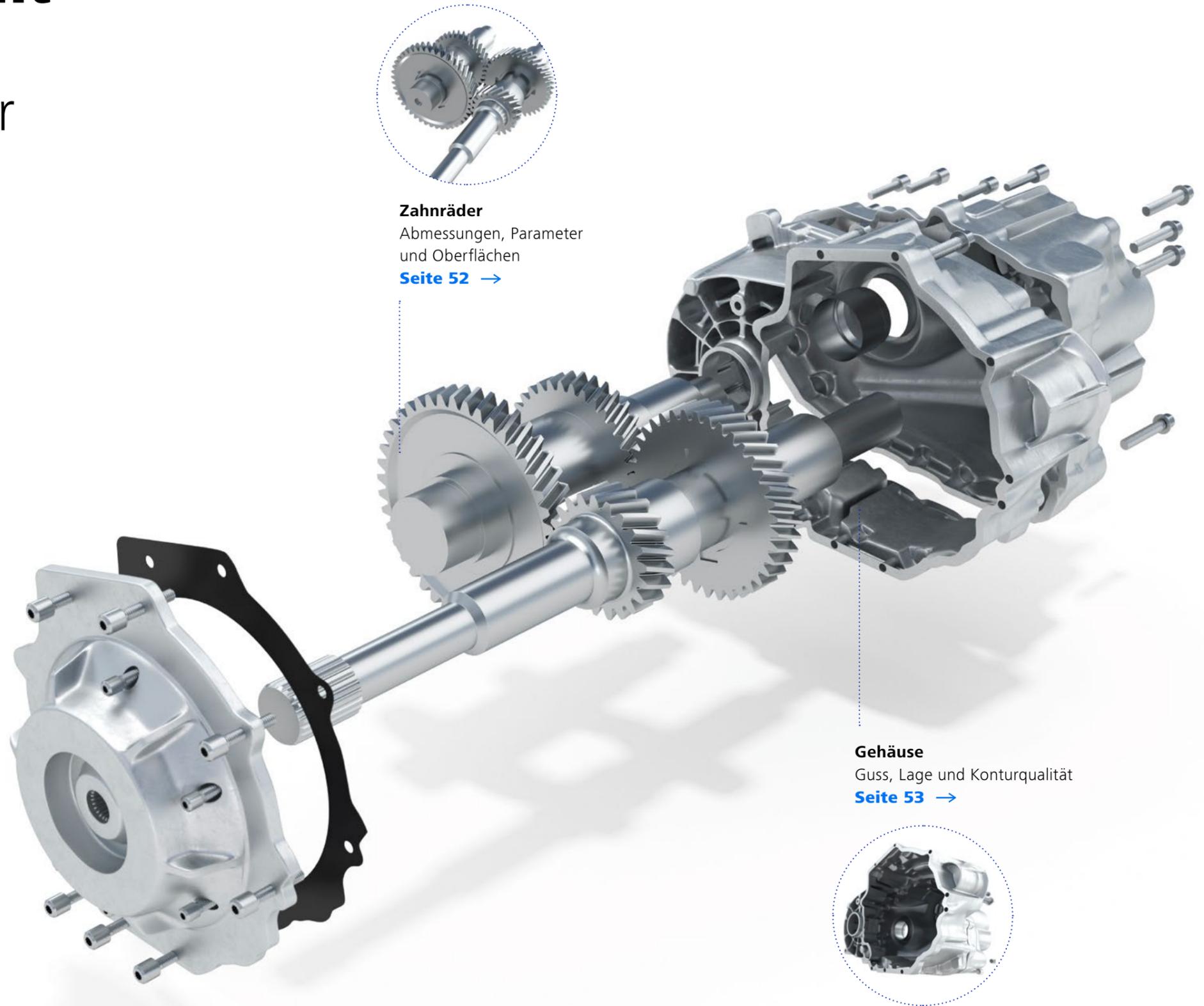


# Qualitätsmanagement für Getriebe

## Detaillierte Inspektion für zuverlässige Leistung

Der Antriebsstrang bei Verbrennungsmotoren hat bis zu neun Gänge. Fahrzeuge mit alternativen Antriebsmitteln haben entweder ein Eingang- oder Zweiganggetriebe. Elektromotor und Getriebe teilen sich ein Gehäuse: Das reduziert die Anzahl der Komponenten und das Gewicht, nicht aber die Qualitätsanforderungen. Um hohe Leistung, geringen Verschleiß und einen leisen Betrieb zu gewährleisten, sind zahlreiche Mess- und Prüfschritte notwendig.

ZEISS bietet komplexe Systemlösungen, wie z. B. CT zur zerstörungsfreien Erkennung von Innenfehlern. Die Toleranz- und Rauheitssensoren der hochpräzisen KMGs gewährleisten korrekte Dimensionen und Oberflächenqualitäten. Sie eignen sich auch für die Durchführung von Präzisionsmessungen an weiteren Getriebekomponenten.



**Zahnräder**  
Abmessungen, Parameter  
und Oberflächen  
[Seite 52](#) →

**Gehäuse**  
Guss, Lage und Konturqualität  
[Seite 53](#) →

→ Finden Sie das perfekte Produkt für Ihre Anwendung auf Seite 54

## Qualitätssicherung für Getriebe

### Abmessungen, Parameter und Oberflächen

Bei allen Fahrzeugen, ob mit Verbrennungs-, Elektro- oder Hybridantrieb, ist die Qualitätssicherung der Getriebe von zentraler Bedeutung. Elektrofahrzeuge haben im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor deutlich weniger Getriebekomponenten. Doch hohe Geschwindigkeiten, hohe Drehmomente und der Anspruch an leise, energieeffiziente Getriebe machen eine Qualitätssicherung essenziell.

#### Maßhaltigkeit

##### Herausforderungen

- NEV-Zahnräder haben sehr enge Toleranzanforderungen, oft nur wenige  $\mu\text{m}$
- Ziel ist die Reduzierung von Geräuschen und Rauheit bei Drehzahlen von bis zu 20.000 U/min
- Mit schnellen, hochpräzisen Prüfgeräten lassen sich die geforderten Toleranzen bewerten

##### ZEISS Lösungen

- Für die Zahnradmessung eignet sich ein ZEISS KMG mit taktilem Messkopfsystem und Drehtisch
- Mit nur einem Gerät werden alle Zahnradparameter und Form, Größe und Lage gemessen
- Für maximale Genauigkeit und Flexibilität



#### Komplexe Zahnradparameter

##### Herausforderungen

- NEV-Zahnräder, insbesondere Schrägverzahnungen, werden oft mit besonderen Flankenmodifikationen (z. B. Balligkeiten, Rücknahmen, Winkelmodifikationen) hinsichtlich Geräusch- und Effizienzverhalten optimiert

##### ZEISS Lösungen

- Die interaktive, anwenderfreundliche Zahnradmesssoftware ist eine leistungsstarke, zuverlässige Lösung von ZEISS
- Für immer komplexere Anforderungen: Geräusche, Vibrationen und Rauheit
- Die Software von ZEISS bietet die neueste Reporting- und Datenmanagement-Technologie für viele Anwendungen



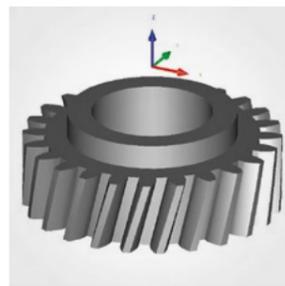
#### Kompressoren und Pumpen

##### Herausforderungen

- Der Elektromotor ist leiser als der Verbrennungsmotor, daher sind Geräusche von besonderer Bedeutung
- Sie entstehen durch Form-, Lage- und Maßabweichungen der Bauteile und Oberflächenunebenheiten
- Rauheits- und Welligkeitsparameter spielen eine wichtige Rolle bei der Geräuschreduzierung

##### ZEISS Lösungen

- Die Rauheits- und Topografiesensoren von ZEISS erfassen alle erforderlichen Daten
- Diese Sensoren können in ZEISS KMG integriert oder hochpräzise Einzellösungen geliefert werden



## Qualitätssicherung für Gehäuse

### Guss, Lage und Konturqualität

Elektromotor und Getriebe befinden sich in der Regel im selben Gehäuse, das eine entsprechend komplexe Konstruktion erfordert. Durch die möglichst dünnwandige und somit leichte Gehäusekonstruktion lässt sich die Reichweite des Fahrzeuges erhöhen. In der Regel werden die Wände aus Aluminium im Druckgussverfahren hergestellt und anschließend spanend bearbeitet. Aufgrund der zahlreichen Bearbeitungsschritte müssen am Gehäuse viele verschiedene Geometrien gemessen werden.

#### Guss-Inspektion

##### Herausforderungen

- Gehäuse aus Aluminiumguss sind formoptimiert und dünnwandiger
- Für ein besseres Kühlverhalten, geringeres Gewicht und eine größere Reichweite
- Defekte in dünneren Wandstrukturen aus Guss können die Sicherheit und den Kühlzyklus von Elektromotor und Getriebe beeinträchtigen

##### ZEISS Lösungen

- Effektive Erkennung von Abweichungen mit Röntgenlösungen von ZEISS
- Keine fehlerhaften Komponenten mehr im Fertigungsprozess



#### Messung von Dimension und Lage

##### Herausforderungen

- Die Zusammenlegung von Elektromotor und Getriebe in einem einzigen Gehäuse erfordert komplexe, voneinander abhängige Geometrien im Fertigungsprozess
- Enge Toleranzen für Form, Größe und Lage der Komponenten

##### ZEISS Lösungen

- Die taktile aktive ZEISS Scanning-Technologie in Kombination mit flexiblen und starren Tastsystemen und einem Drehtisch erfüllt alle Prüfanforderungen
- Evaluation und Darstellung selbst kleinster Abweichungen mit der ZEISS Quality Software



#### Qualität von Oberfläche und Kontur

##### Herausforderungen

- Geometrie-, Oberflächen- und Konturprüfung des Gehäuses sind notwendig, aber zeitaufwändig
- Eine Messung aller Faktoren mit einem einzigen Gerät ist deutlich schneller

##### ZEISS Lösungen

- Das KMG von ZEISS mit taktilem Rauheitssensor prüft alle gängigen Oberflächenparameter
- Für hochpräzise Konturmessungen
- Vollflächige Digitalisierung des Gehäuses für die automatische Erkennung von Oberflächenabweichungen („Ist“-3D-Koordinaten vs. CAD-Daten)



# ZEISS Portfolio

Mehr Informationen zu den Hard- und Softwarelösungen aus dem gesamten ZEISS Portfolio finden Sie unter [zeiss.de/messtechnik](https://zeiss.de/messtechnik)

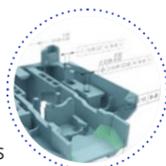
## Koordinatenmessung



ZEISS KMGs arbeiten ausgesprochen schnell, genau und flexibel, während ZEISS VMMs eine hervorragende Punktdichte für schnelle optische Messergebnisse bieten.

### ZEISS CALYPSO

ZEISS CALYPSO ist die Softwarelösung für die dimensionelle Messtechnik für KMGs



### ZEISS Smart Services

Mehr Sicherheit, Verfügbarkeit und Produktivität mit ZEISS Smart Services



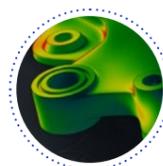
## Optische Lösungen



Manuelles und automatisches Scanning von ZEISS liefert schnelle und hochauflösende Ergebnisse. Die ZEISS Lösungen für optische Messungen prüfen dynamische Objekte auf Verformung oder Bewegung.

### ZEISS INSPECT

Die ZEISS INSPECT Optical 3D Software bietet mit Funktionen wie Vollfelddatenerfassung und Trendanalyse eine völlig neue Dimension der Prüfung und Auswertung.



## CT- und Röntgensysteme



2D- und 3D-3D-Röntgenlösungen von ZEISS erlauben ein schnelles und zerstörungsfreies Scanning Industrielle CT von ZEISS führt Messungen und Fehleranalysen in einem einzigen Röntgenscan durch – auch für die schnelle Prüfung von Bauteilen mit höherer Dichte.

### ZEISS INSPECT

Mit der Röntgensoftware ZEISS INSPECT X-Ray lassen sich die Daten der ZEISS Röntgenlösungen umfassend visualisieren.



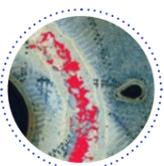
## Mikroskopie



ZEISS bietet Präzisionslösungen in der Licht-, Digital-, Elektronen- und Röntgenmikroskopie für die spezifische Oberflächenprüfung bis zur allgemeinen Materialcharakterisierung.

### ZEISS ZEN core

Die leistungsstarke Bildverarbeitungs- und Konnektivitätssoftware ZEISS ZEN core bietet rückverfolgbare Analysen und gewährleistet die Einhaltung gesetzlicher Vorschriften.



## Unterstützende Software

### Datenmanagement

Die skalierbare ZEISS PiWeb Software für die Berichterstellung und das Qualitätsmanagement kombiniert Messergebnisse verschiedener Messtechnologien für eine effiziente Überwachung der Produktionsqualität. Mit leistungsstarken Funktionen und intuitiven Vorlagen für die Verarbeitung großer Datenmengen und die Bereitstellung sofortiger Ergebnisse.



### Reverse Engineering

Die ZEISS REVERSE ENGINEERING Software zur Flächenrückführung unterstützt die automatisierte, interaktive und hochpräzise Erstellung von CAD-Modellen. Die zusätzlich verfügbare optionale Werkzeugkorrektur erhöht die Qualität der CAD-Daten.



# Ihr globaler Partner

In allen Regionen vor Ort

**32**

Vertriebs- &  
Serviceorganisationen

**63**

ZEISS Quality  
Excellence Centers

**100**

Business-Partner

**10**

Produktionsstandorte

NEV-Komponenten werden selten an einem einzigen Standort gefertigt und zusammengebaut. Je nach Land und Lieferant können die Herausforderungen an die Mess- und Prüftechnik entsprechend variieren. Mit unserem globalen Netzwerk von Anwendungs- und Servicetechnikern bietet ZEISS Lösungen zur Qualitätssicherung, die Sie dabei unterstützen, Rückverfolgbarkeit und Qualität auf gleichbleibend hohem Niveau zu halten. ZEISS arbeitet weltweit daran, die Erwartungen seiner Kunden zu übertreffen. Mit umfassendem Know-how und den präzisesten Messgeräten, die es auf dem Markt gibt.

**Wir haben die passende Lösung für Sie.**  
Kontaktieren Sie unsere globalen Experten.



[info.metrology.us@zeiss.com](mailto:info.metrology.us@zeiss.com)



**Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH**

Carl-Zeiss-Straße 22  
73447 Oberkochen

**Vertrieb**

Telefon: +49 7364 20 6337  
E-Mail: [sales.metrology.de@zeiss.com](mailto:sales.metrology.de@zeiss.com)

**Service**

Telefon: +49 7364 20 6337  
E-Mail: [info.metrology.de@zeiss.com](mailto:info.metrology.de@zeiss.com)

[www.zeiss.de/imt](http://www.zeiss.de/imt)

**Carl Zeiss Industrial Quality Solutions, LLC**

6250 Sycamore Lane North  
Maple Grove, MN 55369, USA

Phone: +1 800 327-9735  
Fax: +1 763 533-0219  
Email: [info.metrology.us@zeiss.com](mailto:info.metrology.us@zeiss.com)

[www.zeiss.com/metrology](http://www.zeiss.com/metrology)