From energy to eMotion

ZEISS

Seeing beyond

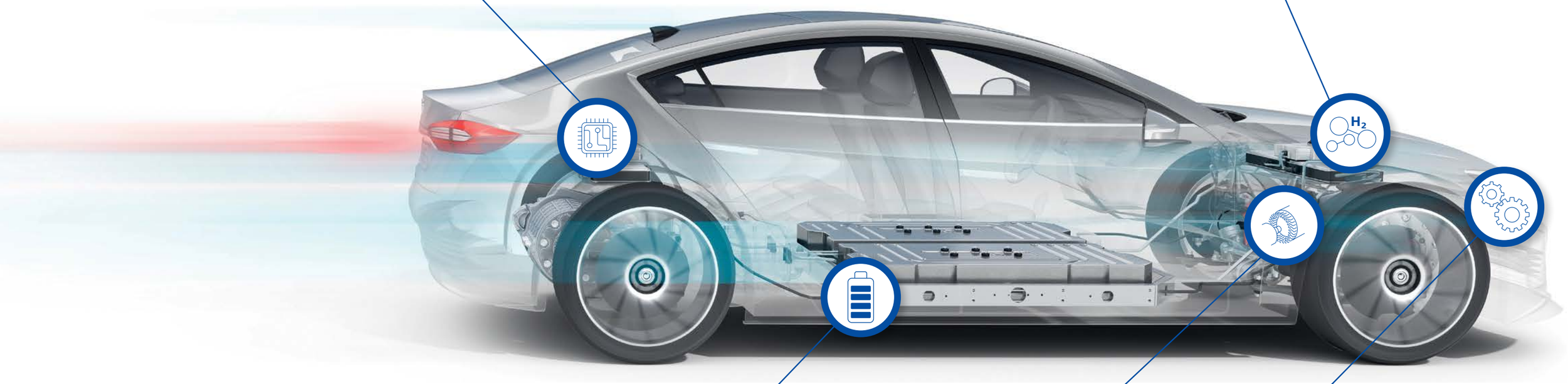
ZEISS eMobility Solutions

From energy to eMotion

Die zunehmende Nachfrage nach Elektrofahrzeugen führt zu einem Umdenken in der Automobilindustrie, da sich der Aufbau eines elektrischen Antriebsstrangs deutlich von dem eines Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor unterscheidet. Dieser Wandel hat zudem enorme Auswirkungen auf die Produktion sowie auf die Montage der Komponenten und stellt durch erhöhte Präzisionsansprüche neue Herausforderungen an den Qualitätssicherungsprozess.

ZEISS eMobility Solutions vereint eine Auswahl an Produkten aus dem ZEISS Portfolio und bietet damit einzigartige gesamtheitliche mess- und prüftechnische Lösungen für alle Komponenten der E-Mobilität: Von der Batterie, über die Leistungselektronik, hin zu E-Motor und Getriebe – From energy to eMotion.

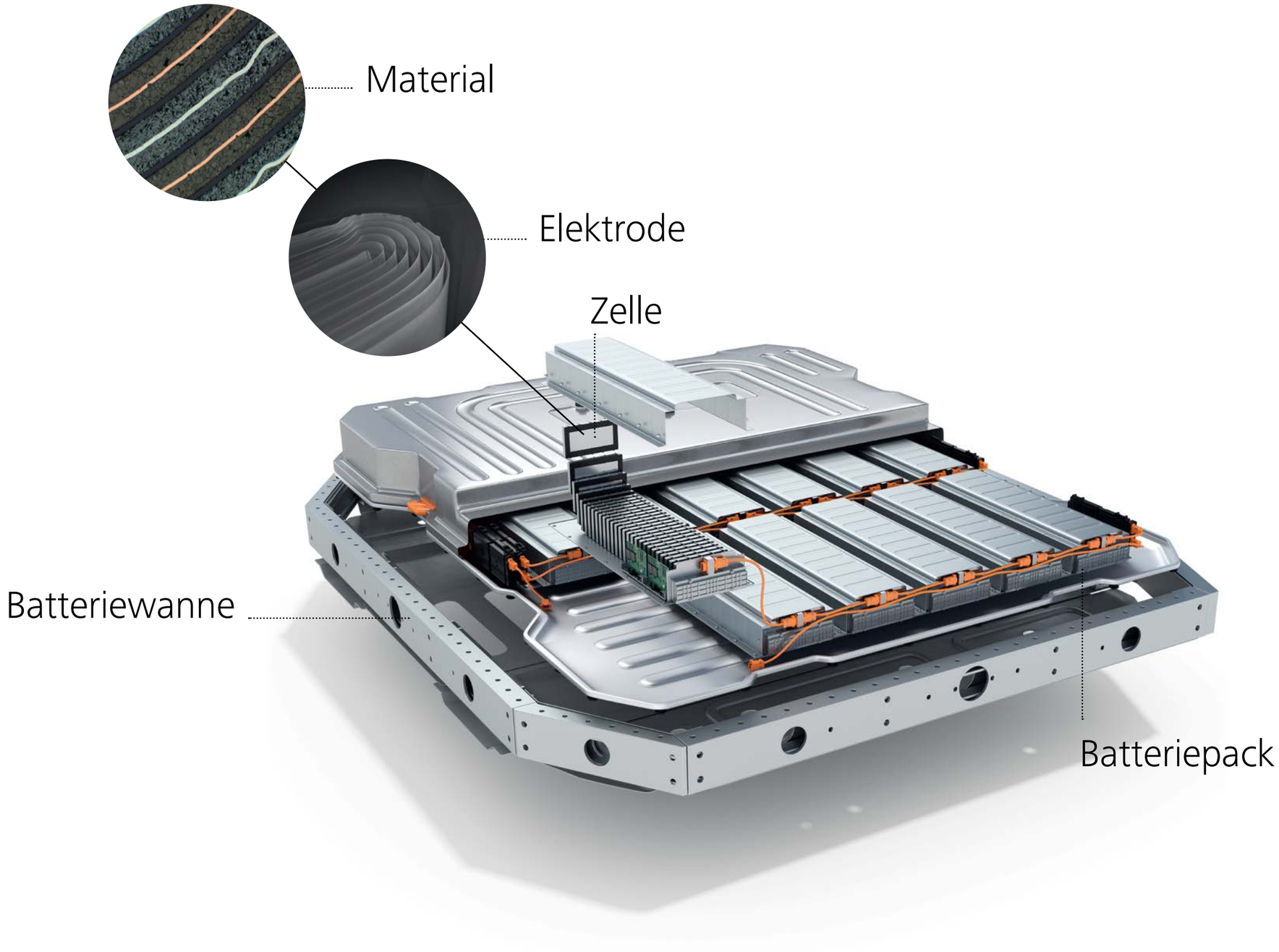
ZEISS
eMobility Solutions



Batterie

Um die Forschung und Entwicklung sowie die Qualitätssicherung von Batterien zu befähigen, sind unterschiedliche Tools für die Bildgebung, Analyse und Messtechnik erforderlich. ZEISS bietet Licht-, Elektronen- und Röntgen-mikroskope sowie Computertomographen (CT) und Koordinatenmessgeräte (KMGs), mit deren Hilfe die strukturellen und elektrischen Eigenschaften, die Zusammensetzung und dimensionellen Eigenschaften in den charakteristischen Längenmaßstäben beurteilt werden können. ZEISS hilft somit die relevanten Daten bereitzustellen, um die Sicherheit, Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit zu verbessern und zu gewährleisten.

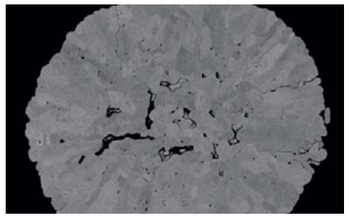
Batterie



Batterien sind für die Leistungsfähigkeit, Reichweite und Langlebigkeit eines Elektrofahrzeugs von zentraler Bedeutung. Sicherheit, Nutzungsdauer, Performance und Kosten sind entscheidende Faktoren, damit sich – heutige wie künftige – Batterietechnologien erfolgreich durchsetzen. In allen Phasen der Batterieherstellung – von der Forschung und Entwicklung bis zur Qualitätsüberwachung und Produktion – müssen diese Faktoren berücksichtigt werden. Daher ist es notwendig, die Batterieeigenschaften auf den Ebenen von Material, Elektrode, Zelle, Modul und Batteriewanne sowie im jeweils charakteristischen Längenmaßstab zu verstehen und zu überwachen.

Für die Herstellung effizienter, zuverlässiger Batterien mit langer Lebensdauer müssen erstklassige Materialien und präzise Herstellungsverfahren eingesetzt werden. Die Qualitätskriterien reichen von der Auswahl möglichst hochwertiger Materialien – einschließlich Lithiumverbindungen sowie Anoden- und Kathodenmaterialien – bis zur Überwachung der kritischen Schritte bei der Elektrodenfertigung. Dabei ist die Kenntnis der Mikrostruktur und der möglichen Quellen von Verunreinigungen ein wesentlicher Aspekt. Außerdem müssen bei der Endmontage Zellen, Module und Batteriewanne innerhalb sehr enger Toleranzen gefertigt werden.

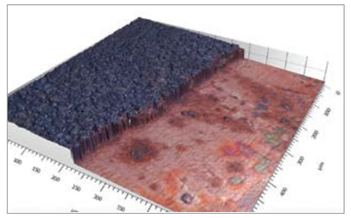
Entwicklung neuer Materialien



Kathodenmaterial NCM 811

Die Entwicklung neuer aktiver Materialien für Kathode, Anode und Separator ist ein wesentlicher Faktor, um die Ladekapazität, das Ladeverhalten und die Lebensdauer der Batterie zu verbessern, während gleichzeitig die Kosten kalkulierbar bleiben. Bei Materialien für graphitbasierte Anoden spielt die Porosität und die leichte Aufbereitung der Proben eine wichtige Rolle für das Entladeverhalten. Durch Hinzufügen von Silizium zur Anode kann die Energiedichte vergrößert werden. Allerdings müssen die Faktoren in puncto Lebensdauer überwacht und kontrolliert werden. Lösungen von ZEISS für die Elektronen- und Röntgenmikroskopie bieten die erforderlichen bildgebenden und analytischen Möglichkeiten, um die entsprechenden Materialeigenschaften zu ermitteln.

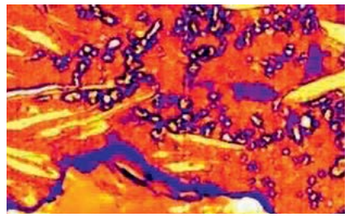
Überwachung der Lieferkette



Aufnahme einer Kathode aus Kupferfolie mit ZEISS LSM

Die Qualitätsüberwachung eingehender Waren ist entscheidend, damit eine durchgängige und einheitliche Beschaffenheit der gelieferten Materialien sichergestellt wird. Wichtige Aspekte bei der Überwachung der Lieferkette reichen von der Bestimmung pulverförmiger Rohstoffe bis hin zur Qualitätsüberwachung von Aluminium-, Kupfer- und Separator Folien. Lichtmikroskope und konfokale Mikroskope von ZEISS ermöglichen die Untersuchung der Rauheit und Mikrostruktur von Folien. Elektronenmikroskope eignen sich zur Untersuchung der elementaren Zusammensetzung, der Größenverteilung der Partikel und/oder der Verunreinigung pulverförmiger Rohstoffe durch Partikel.

Nutzungsdauer & Alterung



Darstellung der Leitfähigkeit mittels Elektronenmikroskopie

Die Leistungsfähigkeit von Batterien verschlechtert sich mit fortschreitender Lebensdauer. Unter dem Mikroskop ist erkennbar, dass Lade- und Entladevorgänge chemische und strukturelle Veränderungen im Elektrodenmaterial verursachen. Wiederholtes Aufquellen und Zusammenziehen von Batterien führen zur Rissausbreitung, zur Porenbildung, zum Verlust der mechanischen Stabilität und elektrischen Leitfähigkeit. Dank Elektronenmikroskopie von ZEISS können die elektrischen Eigenschaften im Mikrometermaßstab erfasst werden. Damit ist es möglich, die Darstellung der Leitfähigkeit der aktiven Batteriematerialien zu erstellen.

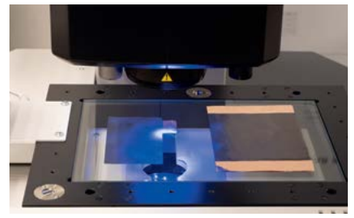
Materialien

Das Batteriesystem wirkt sich stärker als alle anderen Elemente auf die Fahreigenschaften des Elektrofahrzeugs aus. Die Energiedichte der Zellen bestimmt das Verhältnis der Leistung zu Gewicht und Reichweite. Die erforderliche Ladedauer muss den Erwartungen der Kunden entsprechen. Die Batterie ist meist der teuerste Bestandteil eines neuen Fahrzeugs. Die Rohstoffe sind maßgeblich für die Kosten der Batteriezellen verantwortlich. Aus diesem Grund muss bei der Entwicklung von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben ein Ausgleich zwischen Leistungsfähigkeit und den Materialkosten erfolgen, ohne dabei Abstriche bei der Sicherheit zu machen. Die Mikroskope von ZEISS ermöglichen den Ingenieuren und Materialwissenschaftlern die erforderlichen Einblicke in die Materialeigenschaften, damit diese die bestehenden Herausforderungen erfolgreich meistern können.

Batteriezelle mit Elektroden

Hauptbestandteil der Batterie ist die Batteriezelle, die im Wesentlichen aus der Kathode, der Anode, dem Separator und dem Elektrolyt besteht. Die Geometrie der Elektroden innerhalb einer Zelle ist maßgeblich für die Effizienz und Sicherheit der Zelle. Anoden, Kathoden und die Trennfolie für die Separatoren werden aus Kupfer, Aluminium oder mit Isoliermaterial beschichteten Papierfolien geschnitten oder gestanzt. Die Trennfolien werden möglichst ohne Überlappen übereinander angeordnet.

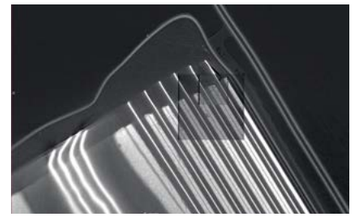
2D-Geometrie



Elektrodenmessung mit einem Multisensor-Messgerät von ZEISS

Ein Multisensor-Koordinatenmessgerät von ZEISS ist die ideale Lösung, um mit hoher Auflösung die präzise Messung von Elektroden im Messraum zu ermöglichen. Aufgrund der großen Anzahl an Elektroden, die für den Aufbau ganzer Batteriepacks erforderlich sind, werden diese in hohem Tempo ausgestanzt und gestapelt. Eine effiziente optische Inline-Messlösung von ZEISS ist unverzichtbar, um den Fertigungsprozess in Echtzeit zu überwachen. Softwaretools von ZEISS ermöglichen eine intelligente Bewertung der Qualität. Damit werden statistische Daten analysiert und mit dem Messraum abgeglichen.

Sicherheit

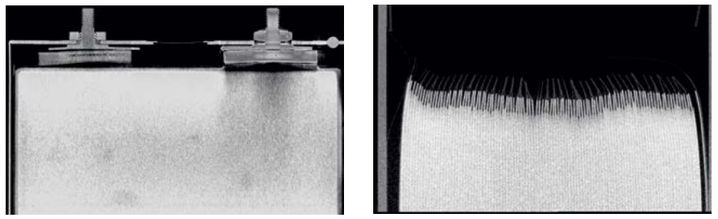


3D-Röntgentomographie einer Pouch-Zelle

Batterien haben eine hohe Energiedichte. Elektrische Kurzschlüsse zwischen Anode und Kathode können zum Abbrennen oder zur Explosion von Batterien führen. Röntgenmikroskope von ZEISS können den inneren, dreidimensionalen Aufbau der Batterien sichtbar machen. Dadurch lassen sich verbogene Stromabnehmer und mögliche Probleme am Separator sowie eine Verunreinigung durch Partikel erkennen, die zur Bildung von Lithiumdendriten führen könnten.

Module mit Zellen

Batteriepack mit Zellen



PHEV2 (Plug-in Hybrid Electric Vehicle)-Stapel-Zelle: Komplettscan unter optimalen Aufnahmeparametern

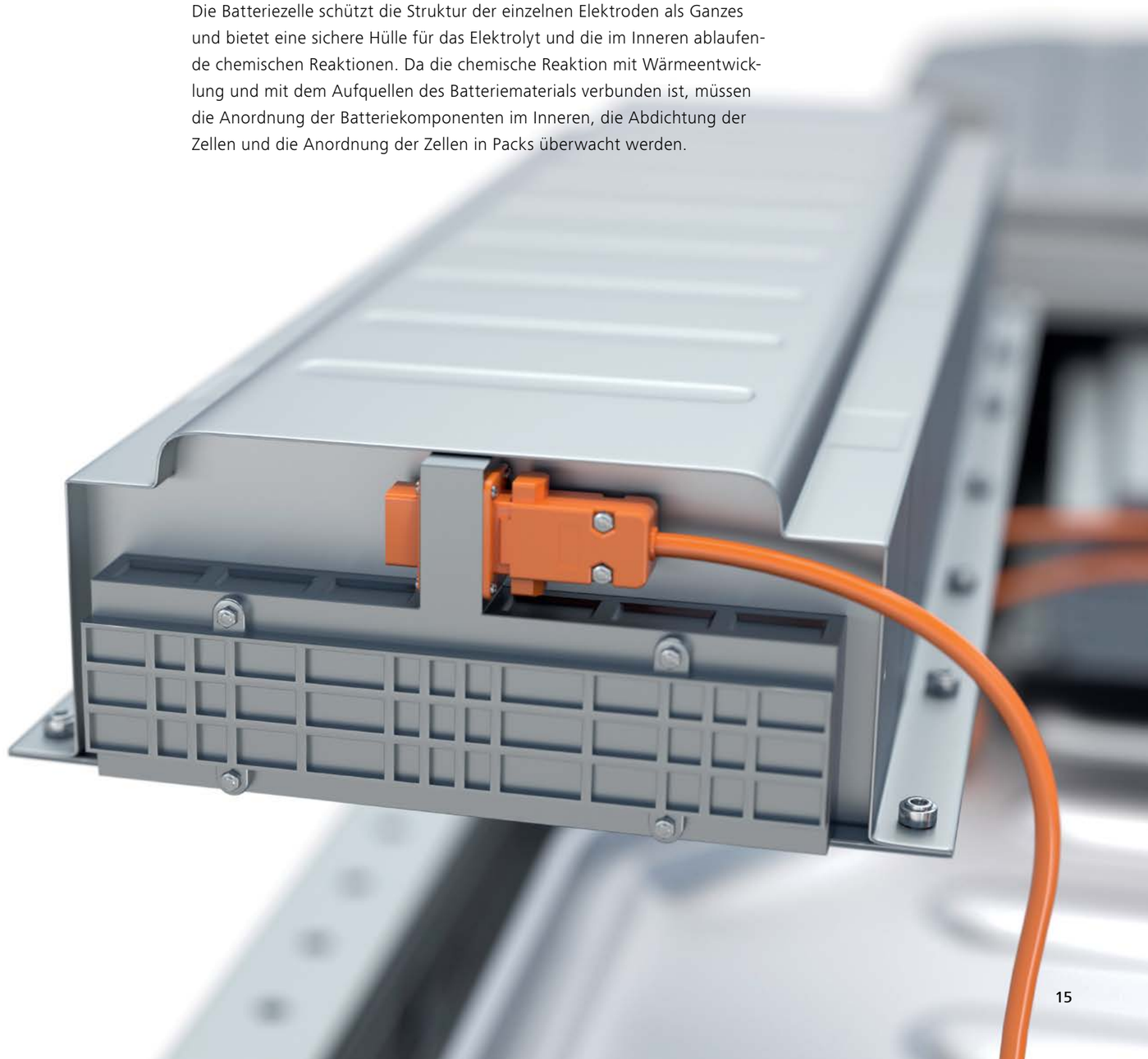
Für die Batteriezelle selbst ist die Stapelung der Folien im Innern der Zelle entscheidend, da eine fehlerhafte Anordnung einen Kurzschluss verursachen könnte. Nach dem Aufbau der Zellen müssen die Abstände zwischen dem Batteriematerial und dem Zellengehäuse überwacht werden. Auch die Position der Stromabnehmerfolie und die Qualität der Schweißnähte, beispielsweise zur Abdichtung, müssen geprüft werden. Nicht zuletzt müssen eine fehlerfreie Berstmembran und der richtige Elektrolytfüllstand sichergestellt werden, damit die Sicherheit und Leistungsfähigkeit der Batterie gewährleistet sind. Zerstörungsfreie Röntgenbildgebung und Messtechnik sind die Lösung für die oben genannten Herausforderungen und können Hinweise auf etwaige Qualitätsprobleme beim Aufbau der Batteriezellen geben.

Montage & Sicherheit

Batteriepack mit gestapelten und angeschlossenen Zellen

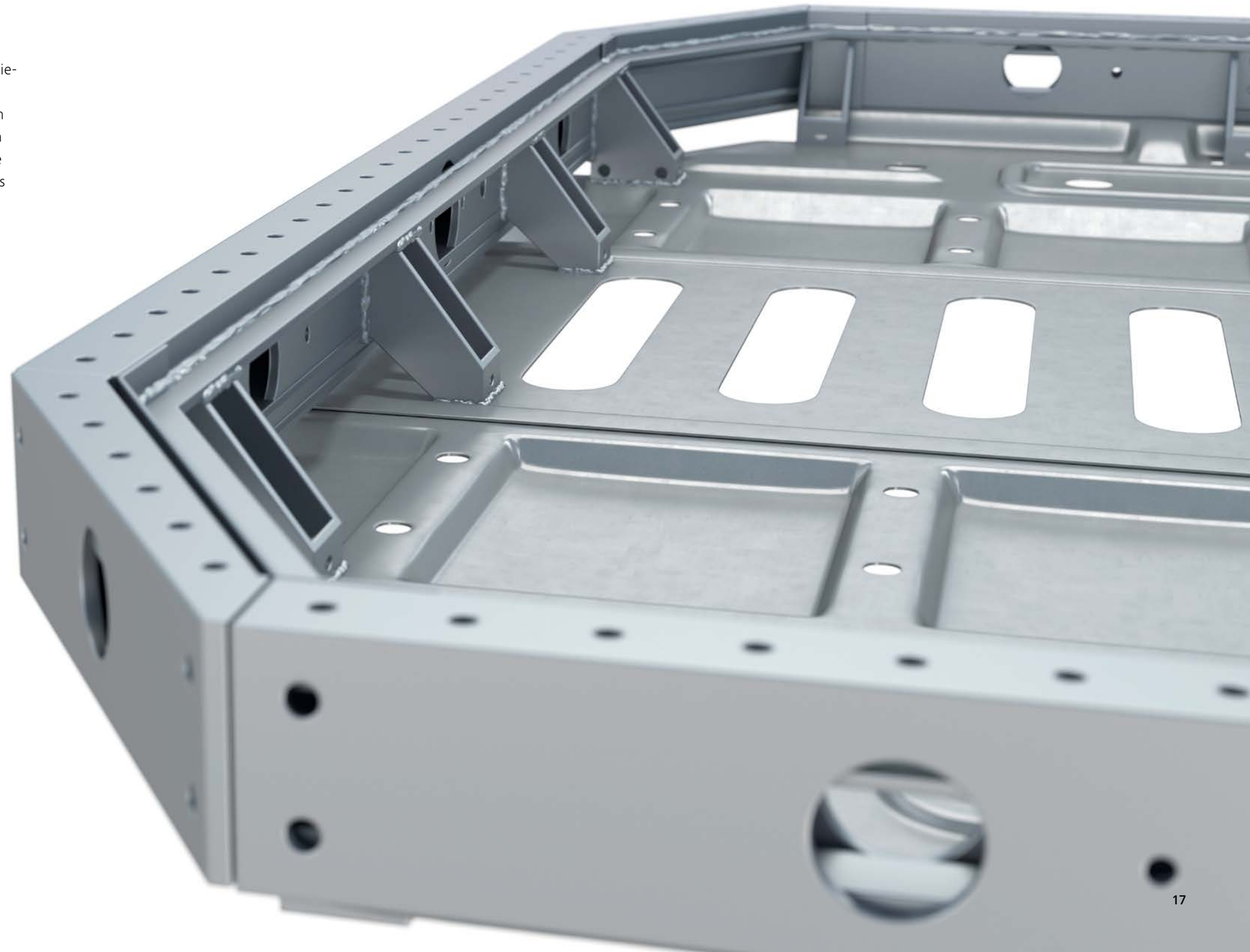
Batteriepacks bestehen aus vielen Zellen, weshalb die Stapelung und der Anschluss voll automatisiert ist. Robotische Systeme setzen die unterschiedlichen Zellen und die dazwischen liegenden Distanzstücke zusammen und stellen so die Batteriepacks zusammen. Jedes Batteriepack besteht aus einigen Batteriemodulen. Koordinatenmessgeräte von ZEISS sind die ideale Lösung, um sicherzustellen, dass sich jede einzelne Zelle an der richtigen Position in der Batteriewanne befindet. Angesichts der hohen Spannung innerhalb der Batteriepacks eignet sich berührungslose Messtechnik wie die Laser-Triangulation als sichere und zuverlässige Messlösung.

Die Batteriezelle schützt die Struktur der einzelnen Elektroden als Ganzes und bietet eine sichere Hülle für das Elektrolyt und die im Inneren ablaufende chemischen Reaktionen. Da die chemische Reaktion mit Wärmeentwicklung und mit dem Aufquellen des Batteriematerials verbunden ist, müssen die Anordnung der Batteriekomponenten im Inneren, die Abdichtung der Zellen und die Anordnung der Zellen in Packs überwacht werden.



Batteriewanne

Die Implementierung der Batterie an das Fahrzeug erfolgt über die Batteriewanne. Diese muss mechanisch stabil an der Karosserie befestigt sein. Allerdings ist die Batteriewanne weniger ein Einzelteil, das nur einfach am Elektrofahrzeug befestigt wird, vielmehr ist die Batteriewanne inzwischen eine voll in die Fahrzeugkarosserie integrierte Komponente. Die komplexe Schweißkonstruktion aus Aluminium enthält alle Batteriepacks, die jeweils aus mehreren Modulen, Steuereinheiten und Steckverbindern sowie Batteriezellen bestehen.



Dimensionen & Positionen

Optische Triangulations-Messung einer Batteriewanne an einem Horizontalarm-KMG von ZEISS

Die Wärmeausdehnung des Batteriepacks während des Ladevorgangs und beim Fahren kann zu Torsion und Deformation der Batteriewanne führen. Die Qualitätssicherung unterschiedlicher dimensioneller Eigenschaften wie Länge, Durchmesser und Position von Aussparungen müssen entweder mithilfe von Stichproben oder mittels voll automatisierter Prüfung am Ende der Produktion erfolgen. Die große Anzahl an Merkmalen erfordert sehr schnelle Messzyklen. Mithilfe berührungsloser Laserscanner können die Messdaten optisch schnell erfasst werden, während taktile Messsysteme bei Hinterschnitten und anderen anspruchsvollen Messaufgaben eingesetzt werden.

Qualität der Schweißverbindungen

Taktile Messung einer Batteriewanne an einem Horizontalarm-KMG von ZEISS

Die Batteriewanne muss aufgrund der hohen Energiedichte in den Batteriezellen richtig in die Karosserie integriert werden, gleichzeitig muss bei einem Aufprall die Sicherheit der Batterie gewährleistet sein. Die Befestigung ist mittels Verbindungspunkten, z.B. verschweißten Bolzen, zur restlichen Karosserie realisiert. Die Größe und Position dieser Schweißpunkte sind für die voll automatisierte Montage der Batteriewanne wichtig, aber auch die Fähigkeit der Verbindung, die beim Fahren, beim Ladevorgang oder bei einem Unfall einwirkende mechanische Beanspruchung aufzunehmen. Alle diese Anforderungen ergeben eine Fülle unterschiedlicher Eigenschaften, die mit einem taktilen Tastersystem oder mit optischen Sensoren von ZEISS abgedeckt werden können.

Inline Vermessung in der Produktion

Optische Inline Vermessung der Batteriewanne

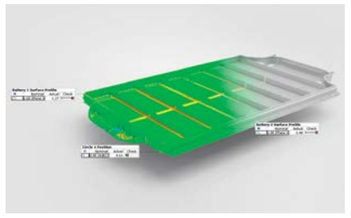
Durch die hohe Anzahl an zu vermessenden Geometrieelementen oder Schweißnahtverbindungen und die Größe der Batteriewanne kommt es schnell zu langen Mess- und Inspektionszyklen. Da die Batteriewanne als sicherheitskritisches Bauteil sehr oft einer 100% Überwachung unterliegt, wird neben der Referenzmessung im Messraum auch eine Inline Lösung für die Produktion benötigt, in der die wichtigsten Elemente vermessen werden. ZEISS bietet im Bereich der Inline Messtechnik verschiedene Sensorsysteme. Die Sensoren werden von Industrierobotern zu den vermessenden Merkmalen bewegt, so kann eine sehr kurze Messzeit ohne zusätzliches ausschleusen der Batteriewanne erreicht werden.

Vollflächige Geometrieerfassung

Optische Messung einer Batteriewanne mit einer 3D-Messmaschine von GOM

Optische Messmaschinen von GOM erfassen die Batteriewanne vollflächig mithilfe hochpräziser Streifenprojektion. Sie digitalisieren das Bauteil innerhalb kürzester Zeit aus unterschiedlichen Blickrichtungen - mit hoher Genauigkeit und Detailauflösung. Die Sensoren erzeugen absolute, korrelationsfreie und rückführbare Messdaten. Der Anwender erhält viele Millionen flächenhaft verteilte 3D-Koordinaten, die gegen das CAD-Modell abgeglichen werden können, um so Abweichungen aufzudecken und Mängel wie Verformungen zu identifizieren. Mittels CAD-Daten und Inspektionsplan erzeugt die Software vollautomatisch die zur Erfassung notwendigen Sensorpositionen und Roboterpfade.

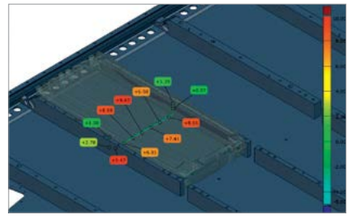
Digitaler Zwilling zur Prozess- & Qualitäts-kontrolle



Abweichungen zwischen dem digitalen Zwilling und CAD-Daten in GOM Inspect

Das Ergebnis des Messvorgangs ist die digitale Kopie, ein digitaler Zwilling, der die reale Geometrie der Batteriewanne abbildet. Aus den 3D Punktewolken lassen sich prozessrelevante Prüfmerkmale wie die Lage der Befestigungslöcher extrahieren und statistisch im Trend auswerten. Durch Trendanalysen auf Basis vollflächiger Messungen werden Veränderungen im Produktionsprozess frühzeitig aufgedeckt. Bei der Problemanalyse unterstützen die farblich kodierten Flächenabweichungen der 3D-Punktewolke zur CAD-Sollgeometrie. Über die Form- und Lagefunktionalitäten kann die Ebenheit bzw. das Flächenprofil der Dichtflächen und einzelnen Batteriefächer berechnet werden, ebenso sind die Höhe und die Position der Dichtraupe sehr gut erfassbar.

Digitaler Zusammenbau



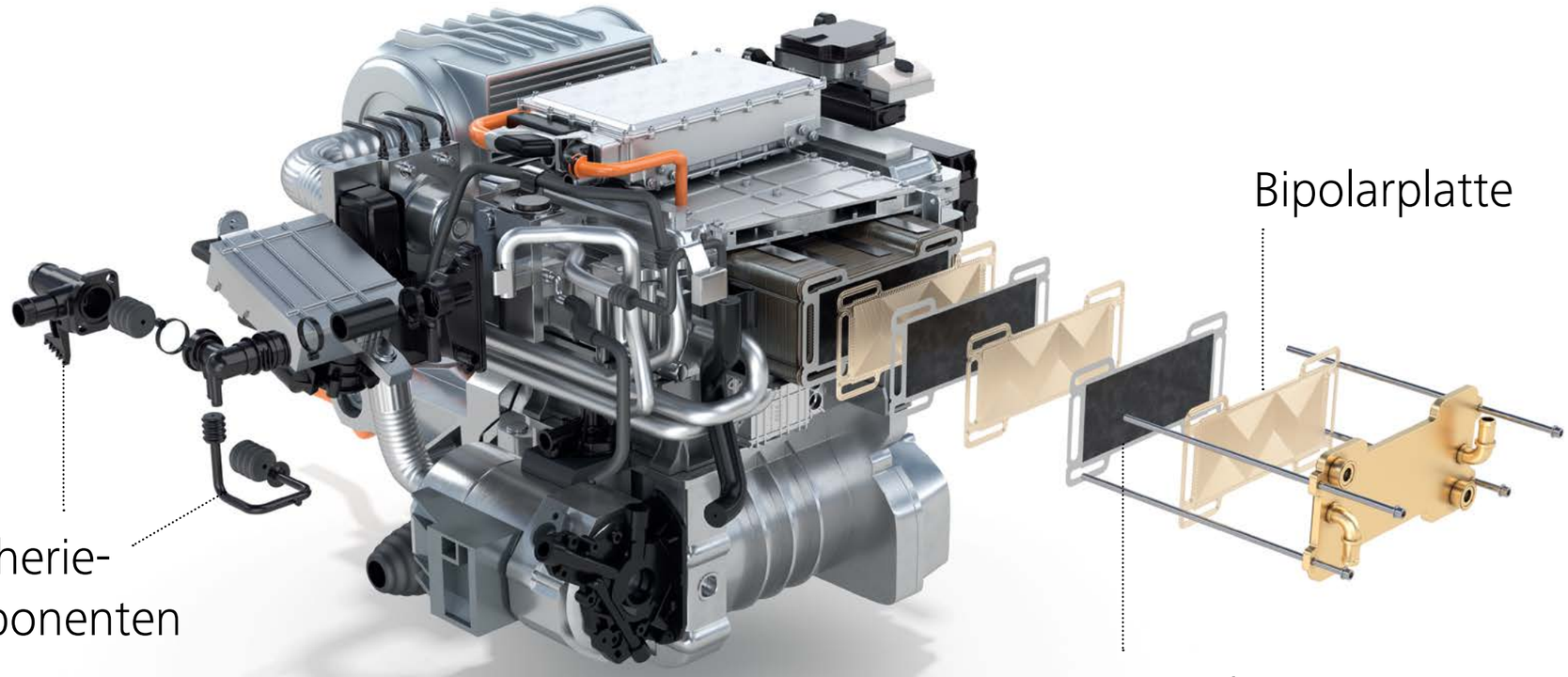
Spaltmaßbestimmung zwischen Batteriemodul und Batteriewanne nach digitalem Zusammenbau

Im digitalen Zusammenbau lässt sich das Zusammenspiel der Batteriemodule mit der Batteriewanne beurteilen. Über unterschiedliche lokale Ausrichtungen können Montagesituationen simuliert und optimiert werden. Auch lassen sich Fragestellungen zu Spaltmaßänderung durch thermische Verformung der Batteriemodule nach Zyklustests leicht beantworten. Über die Flächenabweichung zwischen Batteriemodul und Batteriewanne kann zudem das Volumen der notwendigen Wärmeleitpaste für die einzelnen Batteriefächer berechnet werden.

Brennstoffzellensystem

Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEVs) stellen aufgrund ihres veränderten Antriebsstrangs neben den rein batterieelektrischen Fahrzeugen eine weitere Möglichkeit zur alternativen Energiegewinnung dar. Die Energie zum Antrieb des Elektromotors wird bei diesem Antriebskonzept von einem Brennstoffzellensystem bereitgestellt. Das Stack ist die wichtigste Komponente und verkörpert die eigentliche Brennstoffzelle, in der die elektro-chemischen Reaktionen ablaufen. Dazu werden viele einzelne Zellen hintereinander angeordnet und in Reihe geschaltet. Dadurch entstehen höchste Qualitätsansprüche in der Produktion und Entwicklung der einzelnen Komponenten, die im Zusammenspiel von ZEISS Mikroskopie und ZEISS Messtechnik Lösungen erfüllt werden können.

Brennstoffzellensystem

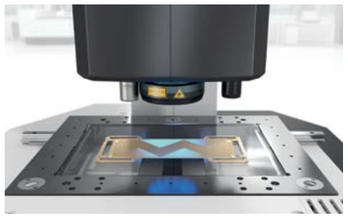


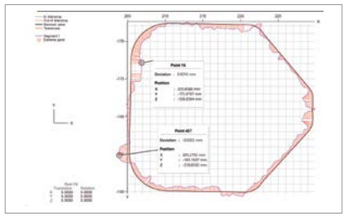
Das Herzstück eines jeden Brennstoffzellenfahrzeugs bildet der Stack einzelner Niedrigtemperatur-Brennstoffzellen mit Polymermembranen (PEMFC); hier wird die elektrische Energie aus dem Wasserstoff gewonnen. Jede Zelle besteht aus zwei Bipolar-Halbplatten sowie einer Membran-Elektroden-Einheit (MEA). Durch die Serienschaltung der Brennstoffzellen ist die Qualität jeder Zelle für das Gesamtsystem maßgeblich verantwortlich. Die hohen Anforderungen an die Bipolarplatten (BPP) und MEAs lassen sich dabei mit dimensionaler Messtechnik sowie durch Inspektion von Beschichtungen, Oberflächendefekten inklusive Kontaminationen oder Schweißnähten prüfen. Um die Qualitätsanforderungen innerhalb der gesamten Wertschöpfungskette der Brennstoffzellenfertigung zu erfüllen, kommen ZEISS Messgeräte und Bildbe-arbeitungsverfahren zum Einsatz. Lösungen im Bereich Multisenorik, Computertomographie und Lichtmikroskope ermöglichen es diesen Ansprüchen gerecht zu werden. Für die notwendige Übersichtlichkeit sorgt ein bauteil-bezogener Report, der mittels der übergreifenden Software ZEISS PiWeb und des einheitlichen Software-Designs der ZEISS Lösungen erstellt werden kann.

Bipolarplatte

Weit über Hundert einzelner Brennstoffzellen werden in einem Stack hintereinandergeschaltet. Für eine effiziente elektrische Energiegewinnung muss die Qualität jeder Einzelzelle gewährleistet werden. Die Bipolarplatte ist das Bindeglied zwischen zwei benachbarten Zellen. Sie hat dabei eine zentrale Funktion für die mechanische Stabilität, die Medienführung und die Stromleitung zur nächsten Zelle.

2D-Geometrie

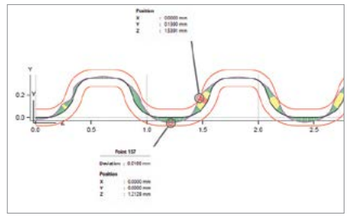




2D-Geometrie Analyse einer Bipolar-Halbplatte auf einem ZEISS Multisensor-KMG

Für die große Anzahl einzelner Zellen bietet die optische Vermessung die notwendige Messgeschwindigkeit und den erforderlichen Durchsatz. Die Maßhaltigkeit der Außenkontur, sowie Aussparungen und Löcher für Medienführung und Geometrieelemente zur Stapellausrichtung lassen sich mittels Multisensorik schnell und zuverlässig in einer Ebene analysieren. Damit werden das anschließende Fügen der Einzelplatten und der spätere Zusammenbau des Stacks mittels Referenzkanten und -muster abgesichert.

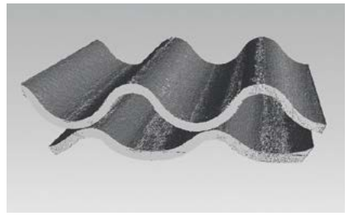
3D-Geometrie und Mikrostruktur

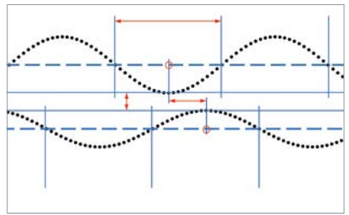


3D-Geometrie Vermessung einer Bipolarplatte

Gasfluss und Kühlmittelführung sind für eine hohe Effizienz durch speziell designte Mikrostrukturen in den Bipolar-Einzelplatten ausgelegt. Die richtigen Krümmungsradien, Flankensteilheiten, sowie Lage und Periodizität der dreidimensionalen Mikrostruktur ist dafür sicherzustellen. Der optische, chromatisch konfokale Messsensor ZEISS DotScan an einem KMG mit Drehschwenkgelenk kann diese Größen vermessen. Gleichzeitig kann damit die Gratbildung an Schnittkanten und die Welligkeit erfasst werden. Bei geeigneter beidseitiger Vermessung kann auch die Materialdicke und lokale Materialausdünnungen durch den Umformungsprozess erfasst werden.

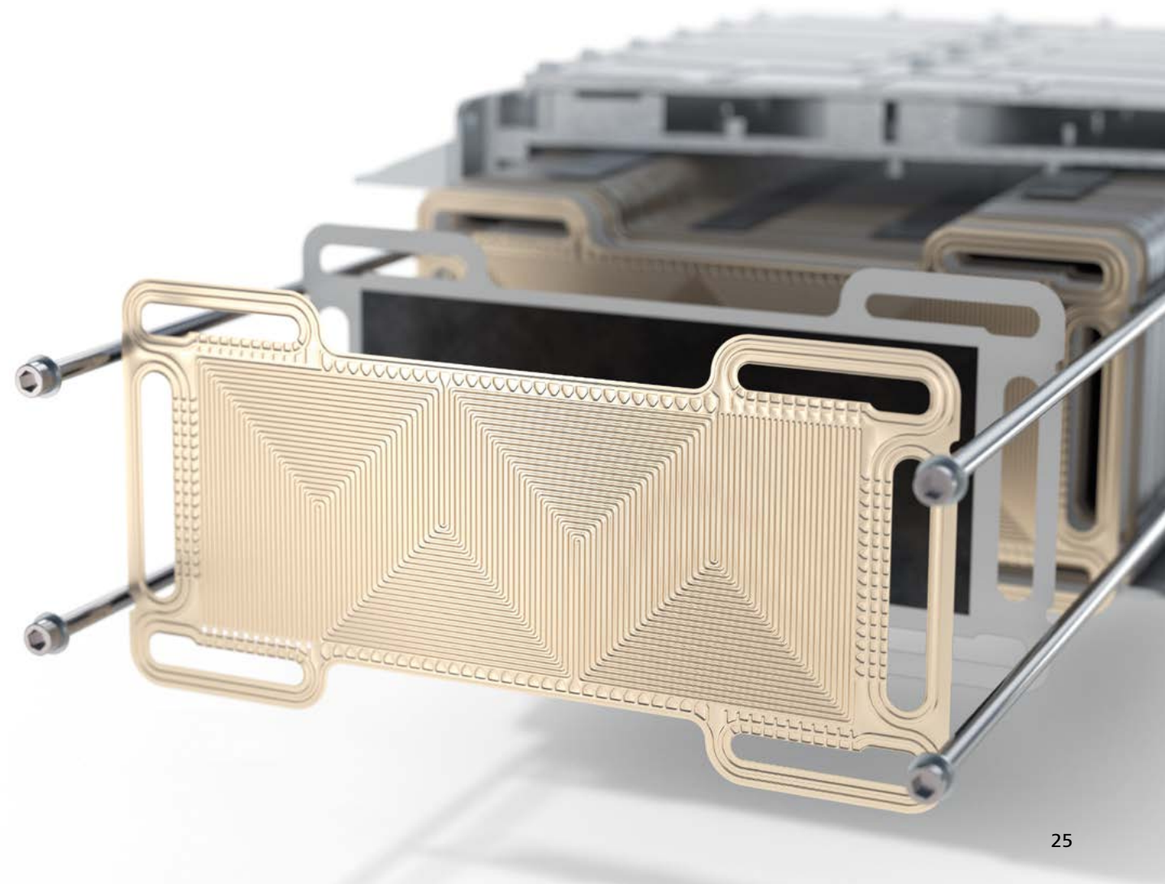
Fertig gefügte Bipolarplatte





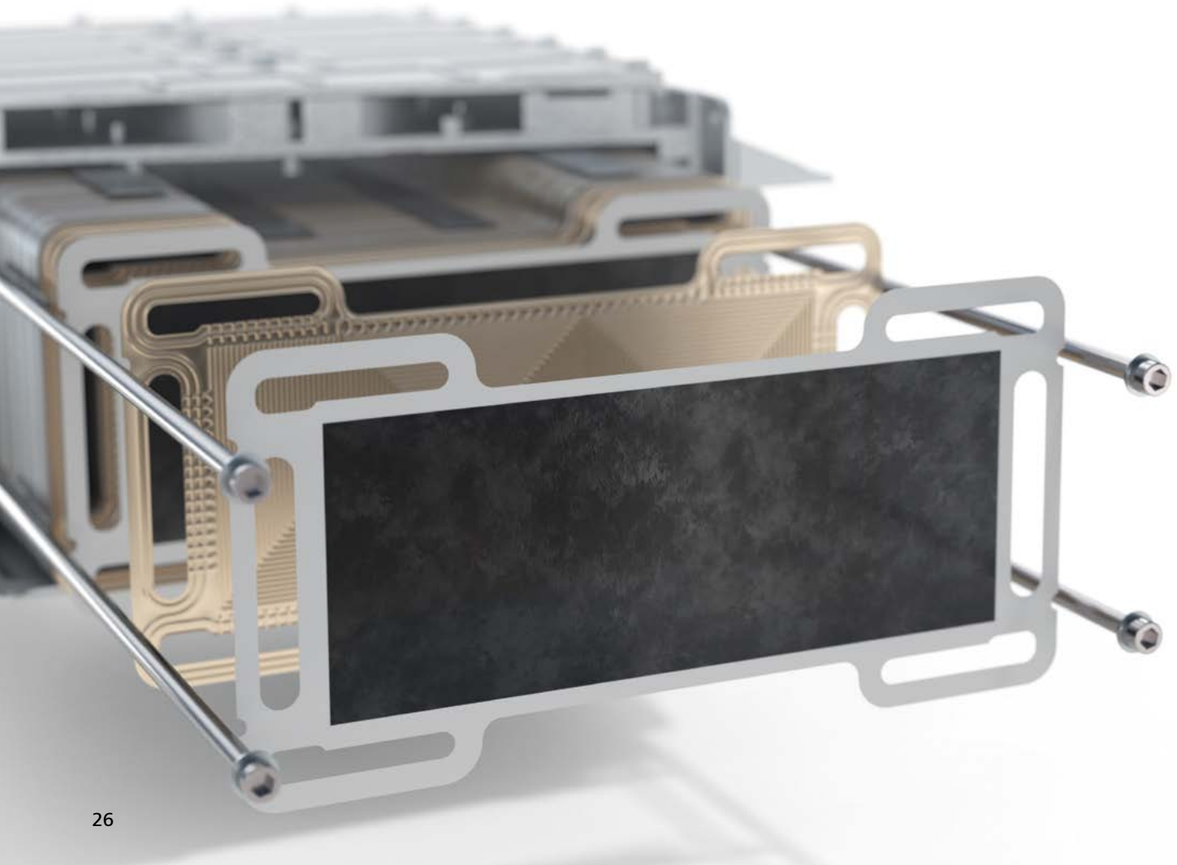
Analyse des lateralen Versatz einer verschweißten Bipolarplatte (BPP)

Zwei Einzelplatten werden zu einer Bipolarplatte gefügt. Die umlaufende Schweißnaht dichtet den späteren Bereich der Kühlmittelflüssigkeit ab, während zusätzliche Schweißnähte im sog. Flowfield die elektrischen und mechanischen Eigenschaften gewährleisten. In diesem Aufbauzustand kann mit dem chromatisch konfokalen Sensor ZEISS DotScan die 3D-Struktur von beiden Seiten erfasst werden. Das Ziel dabei ist die Bestimmung der laterale Ausrichtung der verschweißten Einzelplatten zueinander bzw. die Abweichung in der Gesamtdicke. Detaillierte 3D-Informationen in kleinen Bereichen lassen sich mittels Röntgenmikroskopie im ZEISS Xradia Versa gewinnen.

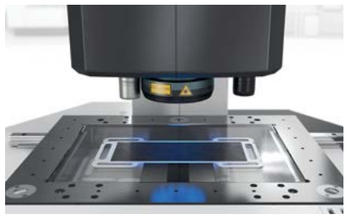


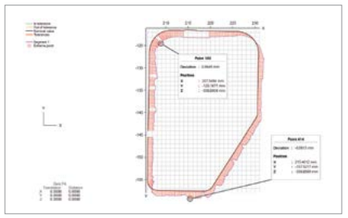
Membran-Elektroden-Einheit

In der Membran-Elektroden-Einheit (MEA) findet die elektrochemische Reaktion statt. Aus ihr wird die elektrische Energie gewonnen. In der Mitte der MEA befindet sich die Membran (PEM), die nur die Protonen, d.h. die Kerne des Wasserstoffatoms, hindurchlässt. Auf beiden Seiten der Membran liegen die beiden Elektroden, auch als „Carbon Black“ bezeichnet. Sie beinhalten auch die Katalysatoren, die die chemische Reaktion auf beiden Seiten der Membran ermöglichen und beschleunigen. Die fertige MEA umfasst zusätzlich auf beiden Seiten die Gasdiffusionslagen (GDL). Je nach Herstellungsprozess werden die Elektroden entweder beidseitig auf die Membran aufgebracht (CCM) oder auf die jeweilige GDL, die letzte Kombination wird auch als CCL bezeichnet.



2D-Geometrie planarer Einzelschichten

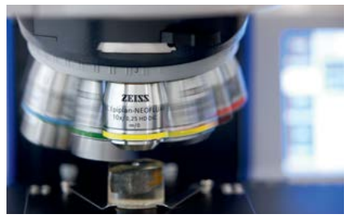


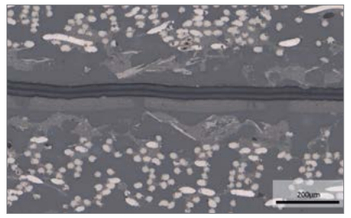


Messung einer Membran-Elektroden-Einheit (MEA) auf einem ZEISS Multisensor-KMG

Lage und Ausrichtung der Einzelschichten, insbesondere der Elektroden, beeinflussen maßgeblich die Effizienz der Energiekonversion in der Brennstoffzelle. Neben den CCMs oder CCLs kommen häufig randverstärkte Schablonenschichten (UEAs) zum Einsatz. Mit einem ZEISS Multisensor-KMG mit integrierter Hintergrundbeleuchtung können Größen und Positionen von Aussparungen sowie Lagen von Beschichtungen zu Referenzkanten einfach vermessen werden.

Schliffbildanalyse fertige MEA

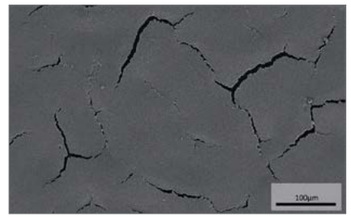




Lichtmikroskopische Aufnahme eines präparierten Schliffs des MEA-Stacks

In der Entwicklung und zur Überprüfung des Schichtaufbaus der MEA werden Proben teilweise zerstörend als Schliff präpariert. Dabei können die Durchgängigkeit von Schichten, deren Dicken und Orientierungen zueinander analysiert werden. Hellfeld- oder Konfokalmikroskopie kommen dabei zum Einsatz.

Defektanalyse Elektrodenschichten



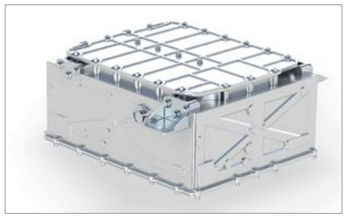
Elektronenmikroskopische Aufnahme einer Elektrodenbeschichtung inklusive Rissnetzwerk

Die Elektrodenschichten werden mit einer Dicke von wenigen µm sehr dünn auf die PEM (CCM) oder GDL (CCL) aufgebracht. Beschichtungsprozesse und Handling können dabei Einfluss auf die Rissbildung in der Elektrodenschicht haben. Die Analyse dieser Risse (Breite, Länge, Verzweigung, Netze) kann mit Hilfe von lichtmikroskopischen Bildern erfolgen, welche mit einem ZEISS Axio Imager aufge-nommen werden können. Gelegentlich werden Risse auch mit Rasterelektronenmikroskopen untersucht.

Peripherie-komponenten

Neben dem Stack, das das Herz des Brennstoffzellensystem bildet, sind noch viele weitere Komponenten für die Funktionsweise systemrelevant. Die für die chemische Reaktion notwendigen Medien werden von den Speichereinheiten über entsprechende Leitungssysteme innerhalb des Brennstoffzellensystems transportiert. Der Wasserstoff wird dazu aus den Speichereinheiten bis zum Stack geführt. Dagegen wird der Sauerstoff aus der Umgebungsluft gewonnen, die dafür aufbereitet werden muss. Dazu sind verschiedene Einheiten wie z.B. Pumpen, Filter und Wasserabscheider nötig. Die Qualität all dieser Komponenten spielt für die Einheit des Brennstoffzellensystems eine entscheidende Rolle.

Stack Baugruppe



Stack Baugruppe eines Brennstoffzellen Systems

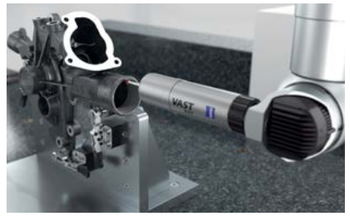
Die einzelnen BPP und MEA Einheiten werden im Stack zu einem dichten Zellstapel gepackt. Deshalb spielt die Geometrie der Strukturbauteile, die die Kräfte innerhalb des Stacks aufnehmen, eine wichtige Rolle. Das Gehäuse des Stacks besteht oft aus einer Aluminium Druckguss Konstruktion. Damit die Qualität dieser Bauteile sichergestellt werden kann, kommen ZEISS Computertomographen zur Detektion von Lunkern, Poren oder Einschlüssen in der Gussstruktur zum Einsatz. Weiterhin werden die mechanisch bearbeiteten Anschlussflächen mittels taktiler und optischer Koordinatenmesstechnik von ZEISS hinsichtlich ihrer Abmessungen sowie Form und Lage gemessen und ausgewertet.

Medienführende Komponenten

Porositätsanalyse eines medienführenden Kunstoffteils

Sowohl die Zuführung des Wasserstoffs und der aufbereiteten Umgebungsluft, als auch die Zu- und Abführung des Kühlwassers wird mittels komplexen Rohrsystemen ermöglicht. Die Geometrie und die Materialbeschaffenheit dieser Komponenten ist für die Funktionsweise und Langlebigkeit des Gesamtsystems sehr wichtig. Um dies sicherzustellen können mittels ZEISS Computertomographie digitale Zwillinge der realen Spritzguss Bauteile erstellt werden. Anhand dieser 3D-Modelle können mittels ZEISS Softwaretools Defekte im Innern erkannt werden. Zudem können Wandstärken im Schnitt betrachtet und komplette Soll-Ist-Vergleiche gegen das CAD-Modell berechnet werden.

Kompressoren und Pumpen



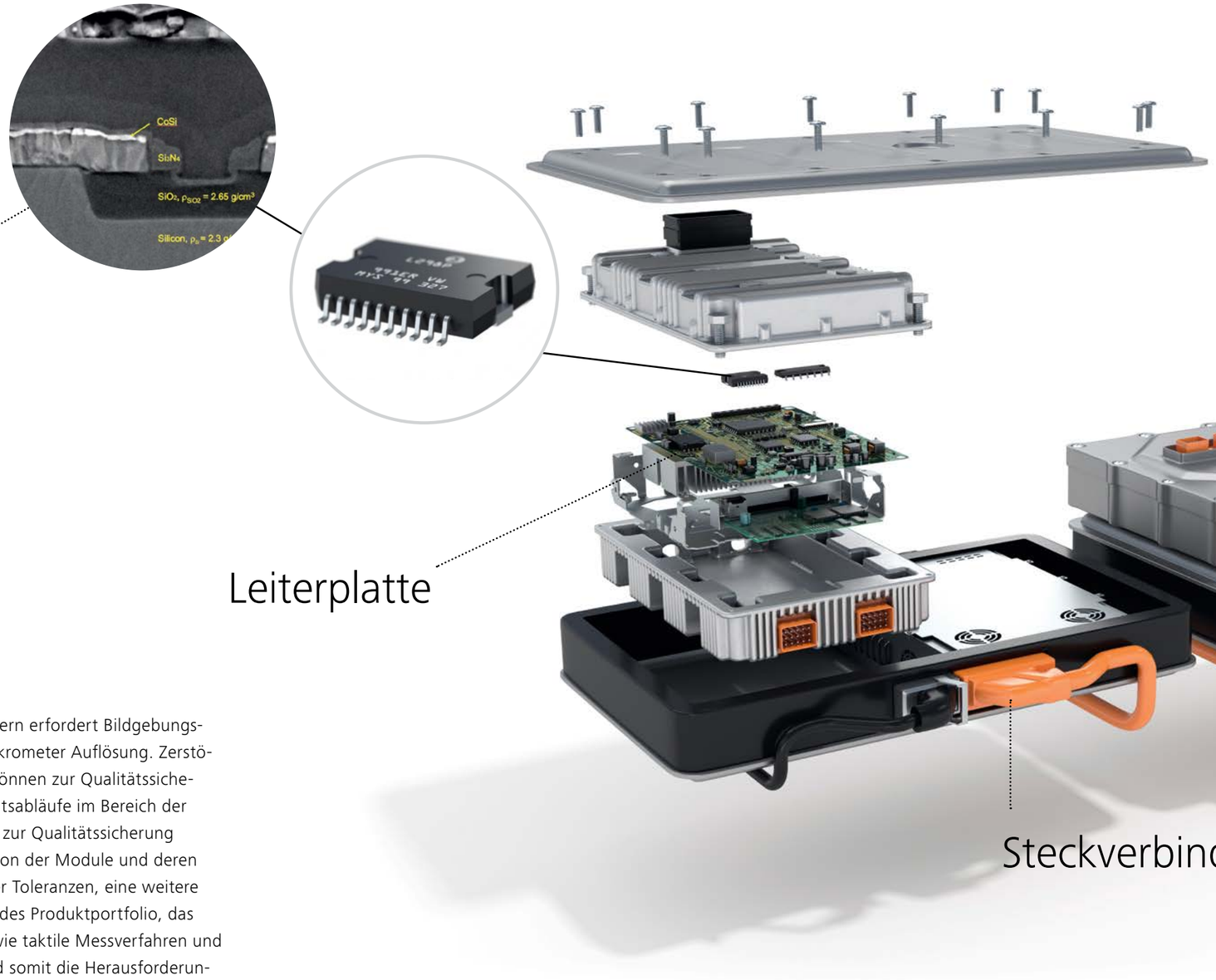
Taktile Vermessung einer Pumpe auf einem ZEISS Koordinatenmessgerät

Um die richtigen Eigenschaften von Wasserstoff und Umgebungsluft für die chemische Reaktion herzustellen, sowie für dessen Transport, kommen Pumpen, Kompressoren und Wasserabscheider zum Einsatz. Bei diesen mechanischen Komponenten spielt die dimensionelle Messtechnik eine große Rolle. Um die Dimensionen hinsichtlich Größe, Form und Lage von Dichtungsflächen, Lagersitzen und weiteren Geometrieelementen zu bestimmen, kommt Koordinatenmesstechnik von ZEISS mittels optischer und taktiler Sensoren zum Einsatz.

Leistungselektronik

Da die Leistungselektronik den Stromfluss zwischen Batterie und Elektromotor steuert, ist sie eine zentrale Komponente aller neuen Antriebskonzepte, sei es bei Elektroautos, Hybridfahrzeugen oder Autos mit Brennstoffzellentechnik. Um die Anforderungen an Effizienz und Zuverlässigkeit der elektronischen Bauelemente zu erfüllen, muss eine Qualitätssicherung von Halbleiterbauelementen, Leiterplatten und fertigen Modulen auf den jeweils relevanten Dimensionen erfolgen, vom Nanometer bis zum Millimeter.

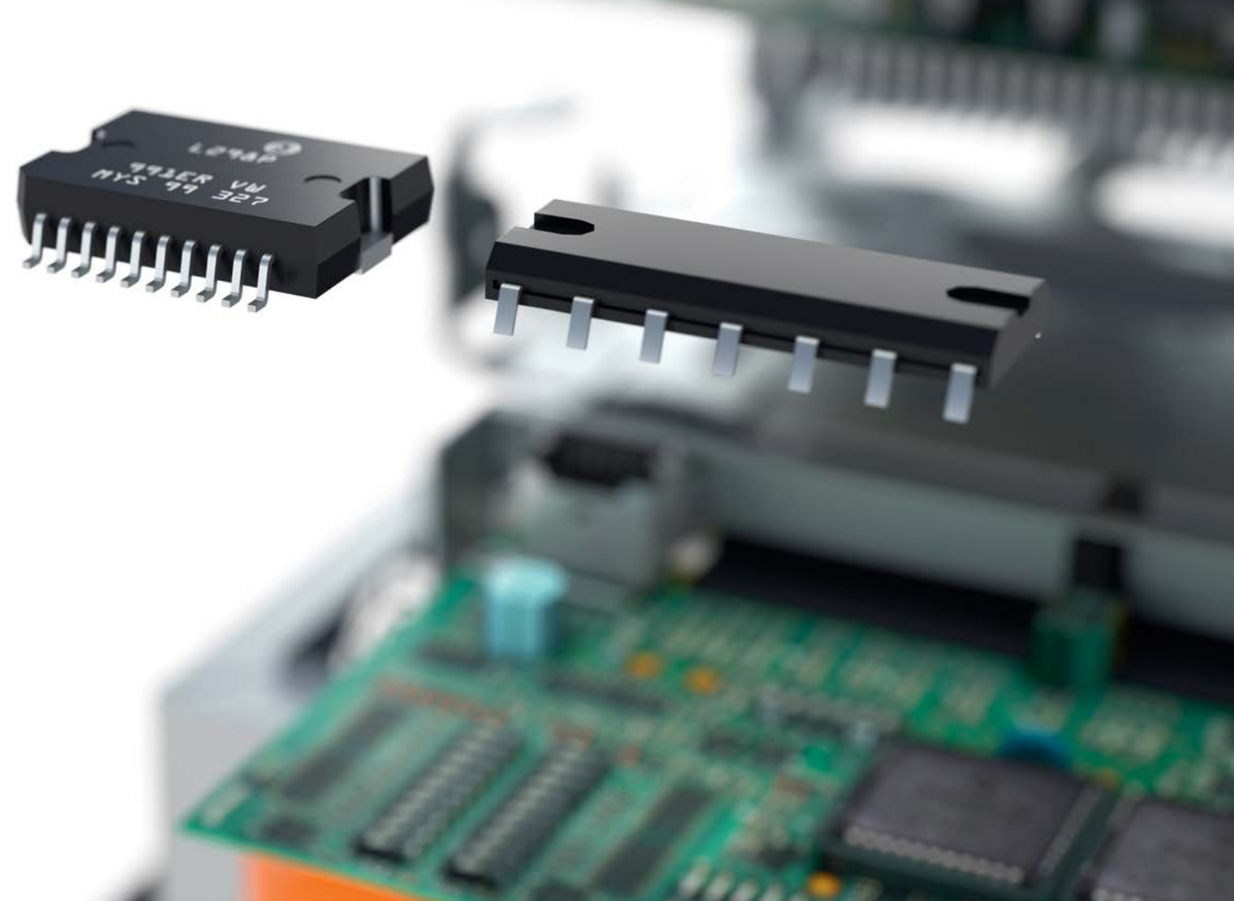
Leistungselektronik



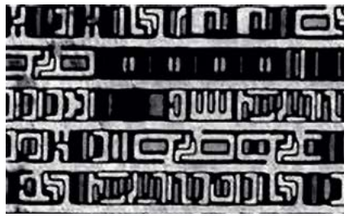
Die Prüfung von Leiterplatten und Steckverbindern erfordert Bildgebungs- und Messlösungen im Millimeterbereich mit Mikrometer Auflösung. Zerstörungsfreie Verfahren wie die Röntgenprüfung können zur Qualitätssicherung eingesetzt werden und unterstützen Arbeitsabläufe im Bereich der Fehleranalyse solcher Komponenten. Zusätzlich zur Qualitätssicherung einzelner Komponenten stellt auch die Integration der Module und deren Einbau in Elektrofahrzeuge, aufgrund sehr enger Toleranzen, eine weitere Herausforderung dar. ZEISS bietet ein umfassendes Produktportfolio, das Licht-, Elektronen- und Röntgenmikroskope sowie taktile Messverfahren und die automatisierte Bildverarbeitung umfasst und somit die Herausforderungen in der Qualitätssicherung und Fehleranalyse elektronischer Gesamtsysteme ermöglicht.

Halbleiter

Die elektronische Steuerung in Fahrzeugen mit alternativen Antriebskonzepten wird zunehmend kompakter und integrierter und hat maßgeblichen Einfluss auf das Fahrerlebnis. Aufgrund der Verbesserung von der Rechenleistung können Fahrzeuge heute den Input externer Sensoren, die Rückkopplung des Motors und die Telemetrie steuern, um so das Gefühl des Fahrens sicherer, effizienter und angenehmer zu machen. Die Mikroskopie Lösungen von ZEISS werden in der gesamten Elektronikwertschöpfungskette eingesetzt um Funktion, Leistungsstärke und Sicherheit zu verbessern und abzusichern.



Motorsteuerung & Gate-Treiber



Elektronenmikroskopische Darstellung des passiven Spannungskontrasts einer integrierten Schaltung

ZEISS Mikroskope finden Anwendung während des Designs, der Herstellung und Qualitätssicherung von integrierten Schaltungen. Die ZEISS Gemini Technologie bietet eine einzigartige Kombination von Materialkontrast, Auflösung und stabilem Elektronenstrahl für die Untersuchung von Logikchips. Mithilfe der ZEISS Röntgenmikroskopie lassen sich Unregelmäßigkeiten bei der Fertigung von Halbleitermodulen feststellen und somit die Prozesssteuerung verbessern. Zudem ermöglicht die Röntgenmikroskopie eine zerstörungsfreie Suche nach möglichen Fehlern wie Delaminierung und Rissen in elektrischen Kontakten.

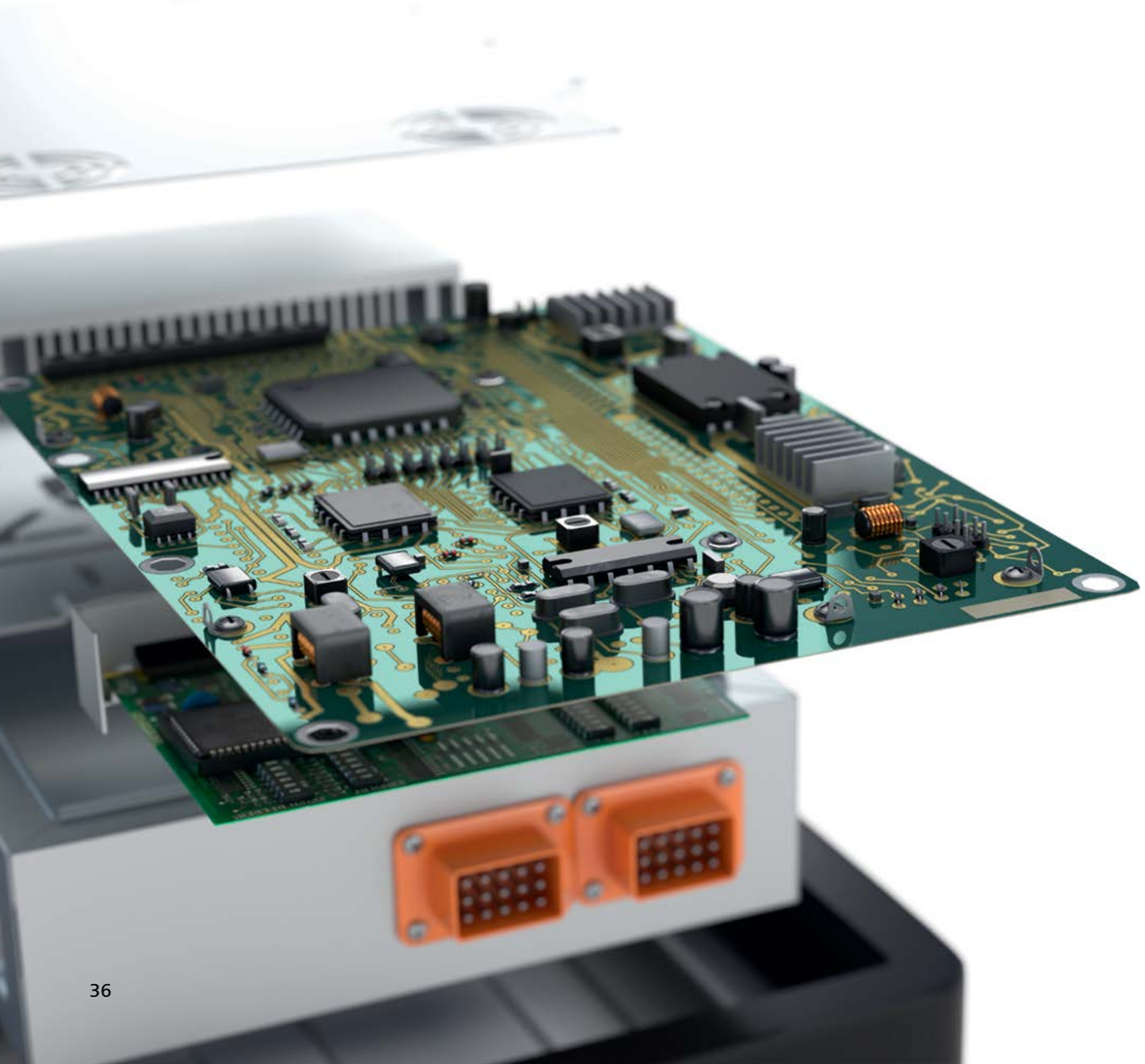
Leistungselektronik

3D-Röntgentomographie einer Leistungsdiode

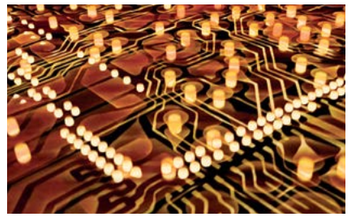
Leistungsfähige Schaltelemente wie IGBT und MOSFET sind das Herzstück der Technologien, die eine kontrollierte Stromabgabe von der Batterie zum Elektromotor ermöglichen. Mithilfe elektronenmikroskopischer Verfahren können die elektrischen und materialspezifischen Eigenschaften mit einer räumlichen Auflösung im Submikrometerbereich dargestellt werden, sodass der Aufbau untersucht und die Fehleranalyse solcher Bauelemente vorgenommen werden können.

Leiterplatte

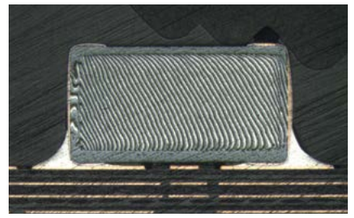
Die wachsende Zahl elektronischer Bauteile, ihre immer stärkere Integration und die raue Einsatzumgebung – zum Beispiel der Einfluss von Temperaturschwankungen oder Vibrationen – machen eine Qualitätsüberwachung und Fehleranalyse erforderlich. Dies gilt insbesondere für Fahrzeuge mit neuen Antriebskonzepten sowie autonomen Fahrzeugen, da die elektronischen Bauteile hierbei sicherheitsrelevant sind.



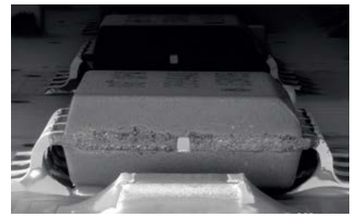
Qualitätsüberwachung & Fehleranalyse



3D-Visualisierung einer Leiterplatte mittels Röntgenmikroskopie



Optische Schnittdarstellung eines Kondensators



Hochauflösende Elektronenmikroskopie eines elektronischen Bauelements auf der Leiterplatte

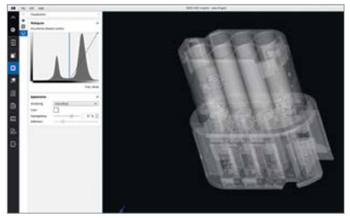
Durch die zerstörungsfreie Prüfung von Leiterplatten mittels Röntgenmikroskopie bzw. optischer Prüfung lassen sich etwaige Qualitätsprobleme feststellen, auf deren Grundlage entsprechende Workflows zur Fehleranalyse entwickelt werden können, um die Ursache zu ermitteln. Es sind hochauflösende Bildgebung in 2D und 3D, Analysemöglichkeiten und optische Messtechnik erforderlich, um wichtige Abmessungen, die Rauheit und Topografie von Oberflächen sowie potenzielle Verunreinigungen mit Partikeln zu überprüfen. Solche Prüfaufgaben, einschließlich großformatiger Bildgebungsverfahren, müssen automatisiert werden, damit steigende Stückzahlen elektronischer Komponenten unter Einhaltung der strengen Qualitätsanforderungen gefertigt werden können.

Guss Inspektion & Dimensionen

Gehäuse der Leistungselektronik mit Steckverbindern

Aluminiumdruckguss wird zur Herstellung dünnwandiger und langlebiger Bauteile verwendet. Dies spart Material und ermöglicht die präzise spanende Bearbeitung, die für eine voll automatisierte Montage der Leistungselektronik erforderlich ist. Dichtungsflächen erfordern die Einhaltung enger Toleranzen bezüglich Ebenheit und Rauheit. Die Position der Anschlussstecker ist entscheidend, um einen elektrischen Kontakt herzustellen, der zuverlässig über einen langen Zeitraum sowie viele Lade- und Fahrzyklen funktioniert. Die Koordinatenmessgeräte von ZEISS und GOM bieten eine maßgeschneiderte Lösung, um den hohen Anforder-ungen an Geometrie und Rauheit gerecht zu werden.

Spritzgussverfahren & Leitfähigkeit



Analyse der Röntgendaten eines Steckverbinders mit ZEISS NEO insights

Spritzguss ist das am häufigsten eingesetzte Verfahren zur Herstellung von Steckverbindern. Dabei werden verschiedene Kunststoffe für das Anschlussgehäuse sowie Metalle für die Anschlusspins kombiniert – ein komplexes und sehr schnelles Verfahren angesichts der vielen Steckverbindungen in einem Fahrzeug. Die Position jedes einzelnen Pins im Inneren des Anschlussteils muss geprüft werden, damit ein funktionsfähiger elektrischer Kontakt gewährleistet ist. Die geringe Größe der Pins im Anschlussteil und die Messung der langen und tiefen Geometrie mithilfe taktiler oder optischer Messtechnik ist eine Herausforderung. Diese lässt sich mithilfe von ZEISS CTs meistern. Neben den Messaufgaben ermöglicht die CT zudem, Fehler im Innern der Spritzgussteile festzustellen.

Gehäuse & Steckverbinder

Das Gehäuse der Leistungselektronik spielt bei der Sicherheit und Zuverlässigkeit des gesamten Batteriepacks eine wichtige Rolle. Es schützt die Batterieelektronik vor Umwelteinflüssen wie Vibrationen, Feuchtigkeit und Temperaturschwankungen, die die Ausfallsicherheit enorm beeinträchtigen können. Auch die Steckverbinder und Stecker der Batteriemodule müssen den beschriebenen Einflüssen standhalten, damit bei jedem Gebrauch des Fahrzeugs eine leichte und sichere Verbindung gewährleistet ist.

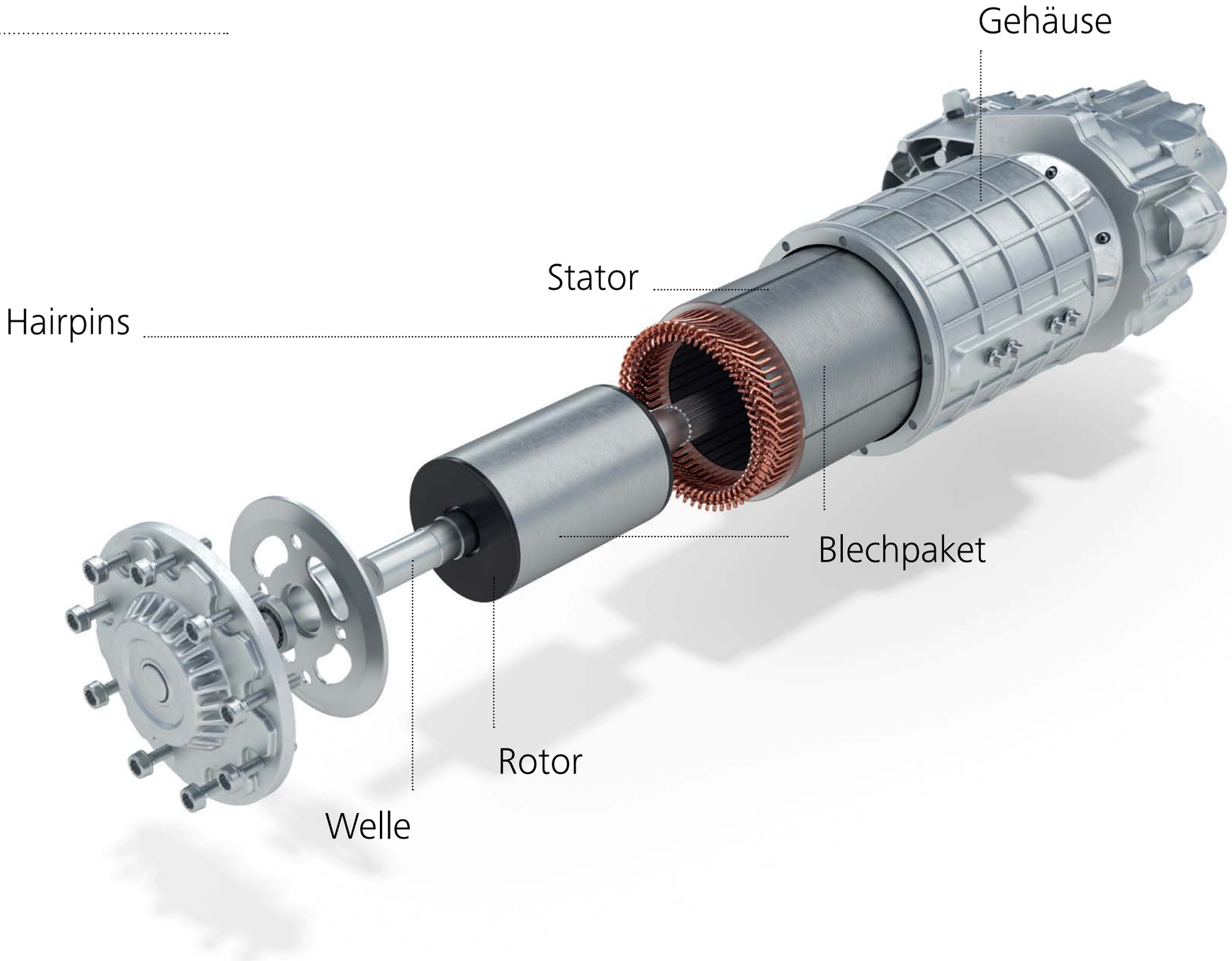
Elektromotor

Die Elektromotoren sind die eigentlichen Kraftzentren eines Elektrofahrzeugs – sie sind kompakt und leicht, kombinieren jedoch hohe Drehzahlen und enorme Drehmomente, schon bei langsamen Geschwindigkeiten. Bei diesen Motoren müssen sämtliche Komponenten exakt ineinandergreifen, um möglichst viel Leistung mit geringem Verschleiß zu kombinieren. Eine der Herausforderungen bei Elektromotoren der neuesten Generation besteht in der präzisen Herstellung und in der Montage der Hairpins mit den Statoren, aber auch in der Fertigung der Blechpakete von Stator und Rotor. ZEISS entwickelt und produziert taktile und optische Messsysteme für alle Bereiche der Qualitätssicherung und unterstützt die Hersteller von Elektromotoren bei den notwendigen Qualitätskontrollen.

Elektromotor

In der Fertigung vieler Komponenten der kompakten Hochleistungsmotoren spielen automatisierte Prozesse eine wichtige Rolle. So werden beispielsweise die stromführenden Leiter im Stator nicht mehr aus vielen dünnen Drähten gewickelt, sondern aus massiven Kupferdrähten gebogen, montiert und verschweißt. Während in der Fertigung der Biegeprozess vollautomatisch abläuft, stellt dieser aber aufgrund der flexiblen Struktur der Hairpins eine Herausforderung für die Qualitätssicherung dar, um z.B. deren Geometrie zu messen. In der Montage müssen die Hairpins exakt in die Nuten des Stators passen, die in die Einzelbleche der Blechpakete gestanzt oder geschnitten wurden. Solche hochpräzisen Baugruppen erfordern mikrometergenaue Toleranzen – und genau hier setzt ZEISS an.

ZEISS bietet taktile und verschiedene optische Messgeräte wie 2D-Kameras, Lasertriangulation und konfokale Weißlichtsensoren für jeden Bereich des Qualitätssicherungsprozesses – für effiziente, zuverlässige und langlebige Elektromotoren. Vom handgeführten Laserscanner bis hin zu hochpräzisen Koordinatenmessgeräten werden diese Geräte in der gesamten Produktion an mehreren Stellen in der Qualitätskontrolle eingesetzt – vom Prototypenstadium bis zur Serienproduktion. Als Experte für präzise Messergebnisse entwirft ZEISS zusammen mit den verschiedenen Herstellern die ideale Qualitätssicherungskette.



Abmessungen & Isolationslack

Hairpin-Messung am KMG mit konfokalem Weißlicht-Sensor oder mit handgeführtem Laserscanner

Qualifizierung des Biegedesigns

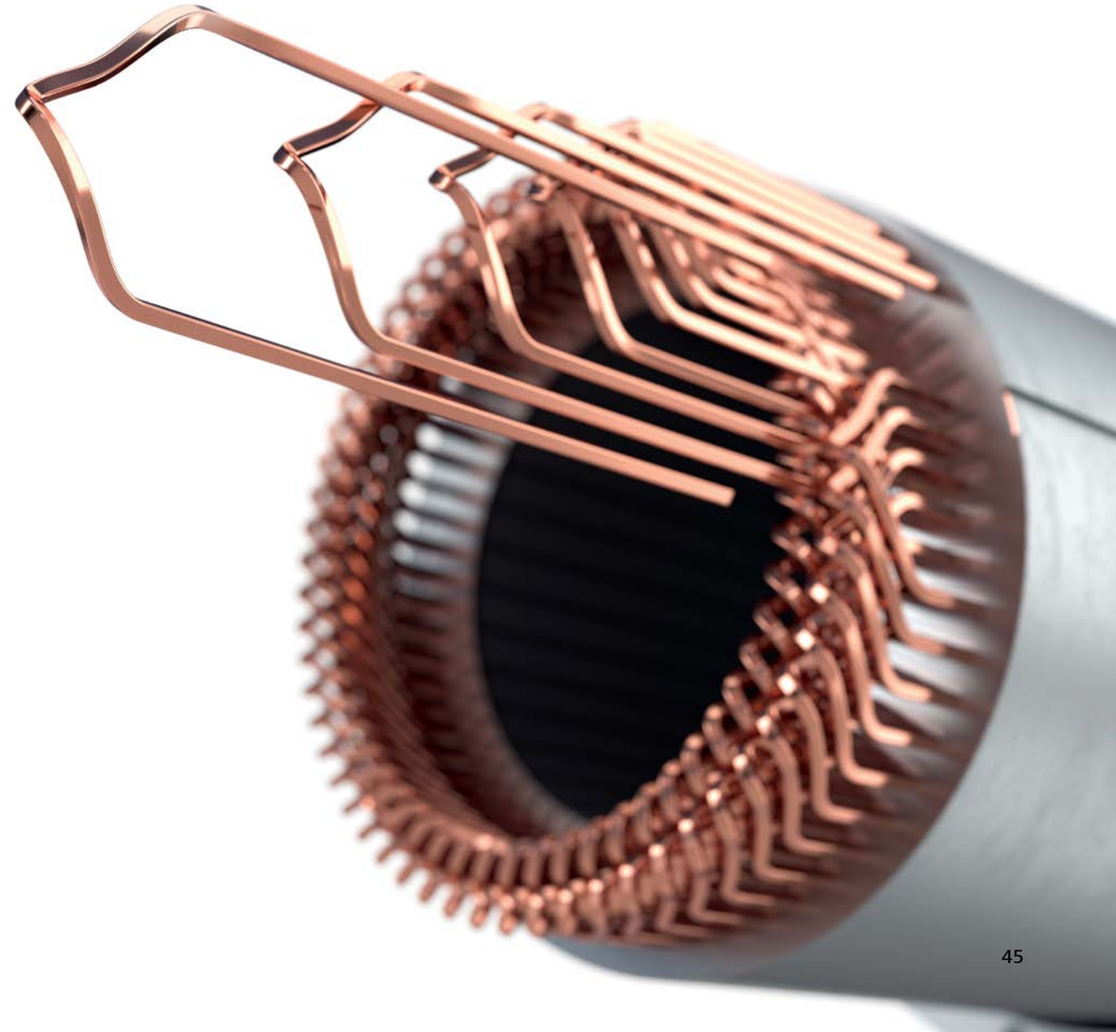
Digitalisierung eines Hairpins mit dem Streifenlichtprojektionssystem ATOS Q

Jeder Hairpin weist eine biegeweiche Struktur auf und ist zudem mit einem empfindlichen Isolationslack beschichtet – Eigenschaften, die eine Herausforderung für eine zuverlässige taktile Messung darstellen. Eine Möglichkeit, die Form des Hairpins und die Dicke der Lackschicht exakt zu messen, besteht in einem automatisierten Koordinatenmessgerät von ZEISS, das über einen optischen Sensor mit konfokalem Weißlicht oder Laser-Triangulation verfügt. Eine Alternative ist ein Streifenlicht-Projektionssystem oder ein handgeführter Laserscanner von ZEISS.

Die Konstruktion der Hairpins erfolgt nicht einfach über ein CAD-Modell, sondern über einen Masterpin, der über mehrere Schleifen durch Modifizieren der Biegeparameter festgelegt wird. Um die fertigen Hairpins gegen diesen Masterpin zu prüfen, muss dieser gescannt und ein CAD-Modell erstellt werden. Mithilfe von Streifenlicht-Projektionssystemen oder Laser-Triangulation lassen sich präzise, hochauflösende Punktewolken der Hairpins erstellen. Mit der Software ZEISS REVERSE ENGINEERING können daraus schnell hochgenau CAD-Modelle erzeugt werden.

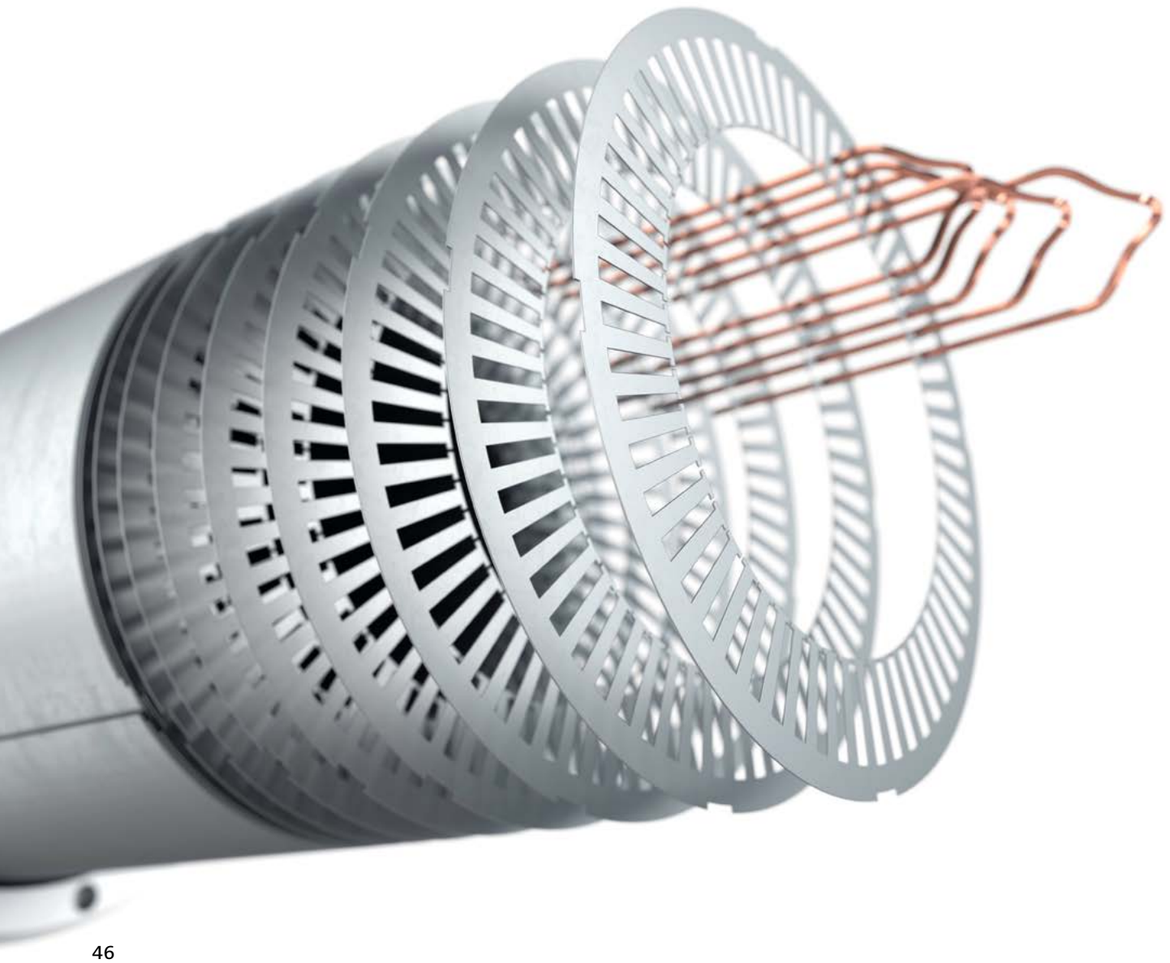
Hairpins

In Elektromotoren der neuesten Generation bestehen die stromführenden Leiter im Innern des Stators nicht mehr aus dünnen gewickelten Kupferdrähten. Stattdessen werden Hunderte von Hairpins aus massivem Kupferdraht gebogen. Diese Hairpins haben individuelle Geometrien und unterscheiden sich in Länge, Winkel und Querschnitt des Kupferdrahts. Durch Verwendung der Hairpins kann die Menge an Kupfer in den Nuten des Stators gesteigert werden, wodurch sich die Effizienz und Leistung erhöhen lässt. Deshalb sind die Abmessungen und die Qualität des Stators von entscheidender Bedeutung.



Blechpaket

Das Blechpaket besteht aus vielen Einzelblechen, die die Geometrie der Aussparungen der Hairpins am Stator, der Permanentmagnete im Rotor sowie der Außen- und Innendurchmesser der Blechpaketbaugruppe beinhalten. Die einzelnen 2D-Bleche bilden die Grundlage für die Konstruktion der Blechpakete für den Rotor und den Stator. Die gestanzten oder lasergeschnittenen Bleche sind weniger als einen Millimeter dick, sodass für die fertigen Blechpakete eine große Anzahl an Einzelblechen benötigt wird.



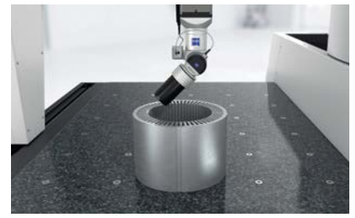
Qualitätssicherung der Einzelbleche

Messung eines Einzelblechs mit einem ZEISS Multisensor-KMG

Die Geometrie des Einzelblechs definiert die Abmessungen der endgültigen Aussparungen im Stator sowie für die Nuten der Magnete im Rotor. Daher ist es entscheidend, diese Merkmale schnell und mit hoher Präzision zu messen. Ideal ist der Einsatz eines ZEISS Multisensor-Messgeräts, das Sensoren wie z.B. eine 2D-Kamera oder einen konfokalen Weißlichtsensor zur Messung der Ebenheit der einzelnen Bleche, beinhaltet. Für ein perfekt konstruiertes und einfach zu montierendes Blechpaket sind die Ebenheit und Gratfreiheit der Einzelbleche Schlüsselfaktoren.

Qualitätskontrolle der Baugruppen

Taktile Messung des Blechpakets mit einem ZEISS Multisensor-KMG



Konturmessung mittels konfokalem Weißlichtsensor am KMG von ZEISS

Bei der Montage des Blechpakets hat die Positionierung der Einzelbleche vor dem Laserschweißen einen großen Einfluss auf die Geometrie der Stator- und Rotornuten, in die die Hairpins bzw. Permanentmagneten eingefügt werden. Nach dem Schweißprozess werden die Abmessungen und Positionen der Nuten sowie die Höhe und Durchmesser des Blechpakets gemessen.
Die Konturmerkmale der Baugruppe des Blechpakets sind für den Montageprozess der Hairpins und Magnete von großer Bedeutung. Multisensor-Messgeräte von ZEISS können für diese Aufgaben mittels 2D-Kameras oder konfokalem Weißlichtsensoren verwendet werden – für eine Qualitätssicherung, auf die Sie sich verlassen können.

Dimensionelle Messtechnik

Messung von Kontur- und Geometriemerkmalen auf einem KMG von ZEISS

Bei der Montage des Stators werden das Isolationspapier und die Hairpins in die Nuten des Blechpakets eingesetzt, verschränkt und miteinander verschweißt. Um einen Kurzschluss im Stator zu vermeiden, müssen unter anderem die Positionen der laserverschweißten Enden gemessen werden. Taktile und optische Technologien sind aufgrund der sehr flexiblen Hairpins notwendig, um genaue Messergebnisse hinsichtlich der Positionen und Abmessungen zu erhalten – ein Multisensor-Messgerät von ZEISS ist die ideale Wahl.

Schweißnaht-Inspektion

Inspektion auf Defekte in der Schweißnaht mit CT Lösungen von ZEISS

Durch den Stromfluss im Stator wird das elektrische Feld erzeugt, dazu werden die Enden der Hairpins laserverschweißt. Beim Schweißen können Lackreste an den abisolierten Enden oder schwankende Schweißparameter zu Porositäten in den Schweißnähten – und so zu schlechter Leistung oder gar einem Totalausfall des E-Motors führen. Mittels Computertomographen von ZEISS können Poren im Inneren der Schweißnaht erkannt, lokalisiert sowie klassifiziert werden, um so eine zerstörungsfreie Qualitätssicherung sicherzustellen.

Bauraum-Analyse

Laserscanning des Stators – handgeführt oder automatisch mit KMG von ZEISS

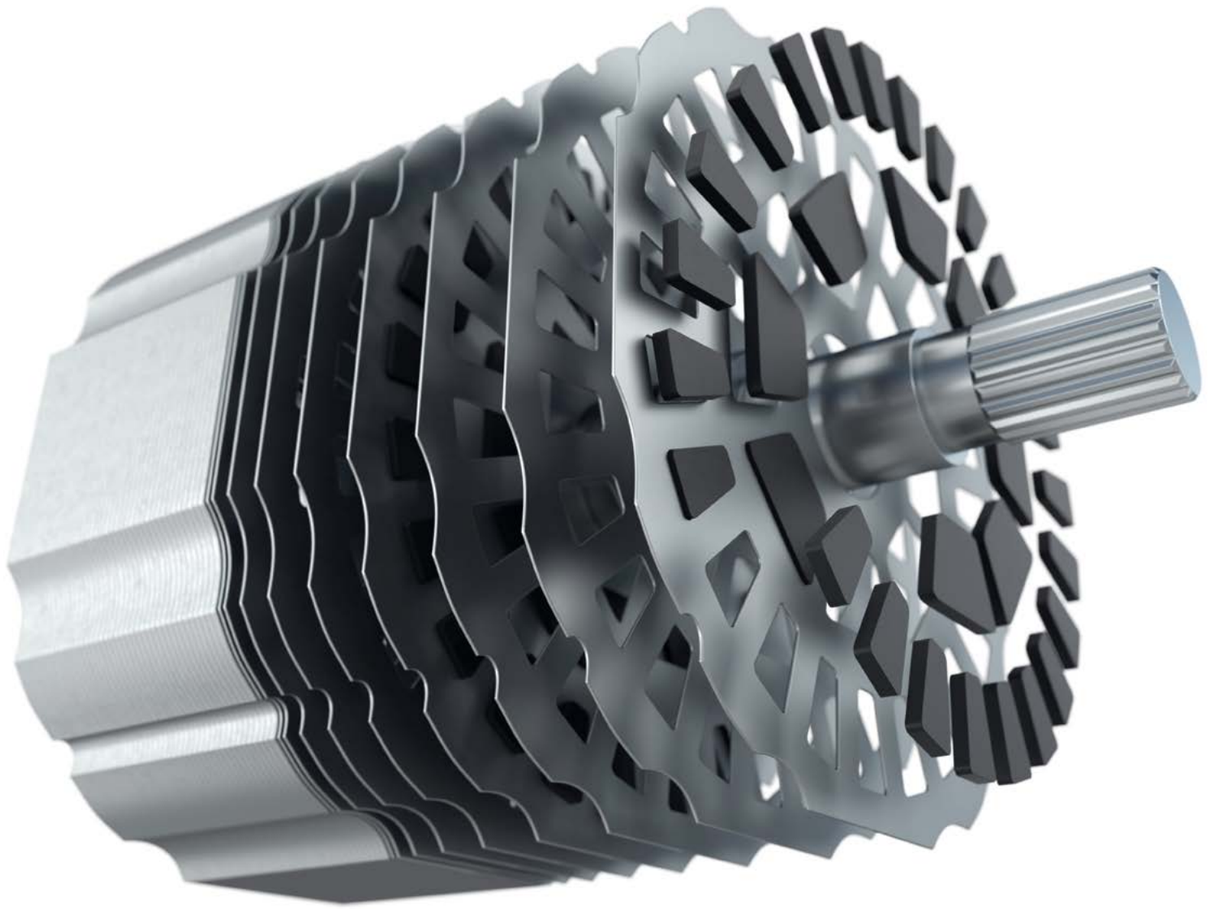
Die Außenabmessungen des Stators sind entscheidend für dessen Montage in das Elektromotorgehäuse. Die Position des Anschlussflansches und der Welle erfordern eine Messung in Relation zur Getriebelage. Es ist wichtig, dass diese Daten schnell und zuverlässig erhoben werden können. Durch den Einsatz von Laser-Triangulationssensoren von ZEISS kann dies realisert werden. Die handgeführte Option spart Programmierzeit und ermöglicht schnelle Messergebnisse – bei größeren Stückzahlen ist ein automatisiertes KMG von ZEISS ideal.

Stator

Der Stator ist auch für die Leistung des E-Motors der neuesten Generation verantwortlich. Die Stator Komponente hat das größte Potenzial, die Leistung, Kraft und Effizienz eines E-Motors zu verbessern. Durch den Einsatz neuer Werkstoffe und innovativer Fertigungstechnologien ist eine Qualitätssicherung über alle Produktionsschritte hinweg erforderlich, um die notwendige Sicherheit, Zuverlässigkeit und Leistung des E-Motors zu gewährleisten.

Rotor & Welle

Der Rotor besteht aus der Welle und dem Blechpaket mit eingepressten Permanentmagneten. Aufgrund der hohen Leistung und Drehzahl des E-Motors weist der Rotor sehr enge Form- und Lagetoleranzen auf, die eine hochgenaue Messung erfordern. Der Luftspalt zwischen Rotor und Statorbohrung ist einer der wichtigsten Parameter, der die Leistung und die Effizienz des E-Motors bestimmt. Er ist auch in Bezug auf die Sicherheit und Zuverlässigkeit des Motors von entscheidender Bedeutung.

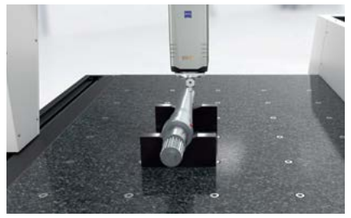


Dimensionelle Messtechnik

Messung der Rotor Merkmale mit einem langem Tastersystem auf ZEISS KMG

Alle dimensionellen Merkmale erfordern eine Messtechnik, die unter dem Einfluss des Magnetfeldes des Rotors leistungsfähig und trotzdem genau ist. Das Magnetfeld kann die Messergebnisse negativ beeinflussen, indem es das Tastersystem oder den Messkopf ablenkt. Ein Koordinatenmessgerät, das mit langen und schweren Tastersystemen engste Toleranzen messen kann, ist daher unerlässlich – die Koordinatenmessgeräte von ZEISS mit aktiver Scanning Technologie sind für diese Anforderungen ideal. Lange Tasterverlängerungen ermöglichen es, an jeder Position des Rotors zu messen, wobei der Tastkopf weit genug vom Magnetfeld entfernt bleibt und so gleichbleibende, genaue Ergebnisse rund um den Stator gewährleisten kann.

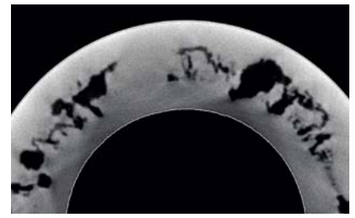
Form- & Konturmessung



Messung von kleinen Formtoleranzen an der Welle mit hochgenauem ZEISS KMG

Die Rotor- und Getriebewellen in Elektro- und Hybridfahrzeugen erfordern sehr hohe Genauigkeiten, insbesondere hinsichtlich Form- und Lagetoleran-zen aufgrund der hohen Drehzahlen im Motor. Für die verschiedenen, mit engen Toleranzen versehenen Merkmale der Wellen, ermöglicht ein KMG die Einhaltung dieser in der Fertigung. Gleichzeitig können eine Reduzierung der Durchlaufzeiten und eine erhöhte Prozesssicherheit erreicht werden. Um zuverlässige Ergebnisse zu erhalten, ist ein KMG von ZEISS mit einem hochpräzisen luftgelagerten Drehtisch und Diamanttastern die ideale Lösung über verschiedene Baugrößen von Wellen hinweg.

Porositätsanalyse



Schnittbild durch den Kurzschlussring zur Porositätsanalyse

Durch die steigenden Drehzahlen in den Elektromotoren werden die Anforderungen hinsichtlich Festigkeit und Stabilität der Rotoren deutlich höher. Damit ein Bruch des Rotors im Betrieb vermieden werden kann, darf ein bestimmtes Porositätslevel nicht überschritten werden. Um die Größe und Anzahl der Poren im Kurzschlussring des Rotors zu bestimmen, kommen Computertomographen von ZEISS zum Einsatz. Anschließend werden die aufgenommenen 3D-Daten mittels der Porositätsanlayse softwareseitig analysiert und klassifiziert.

Getriebe

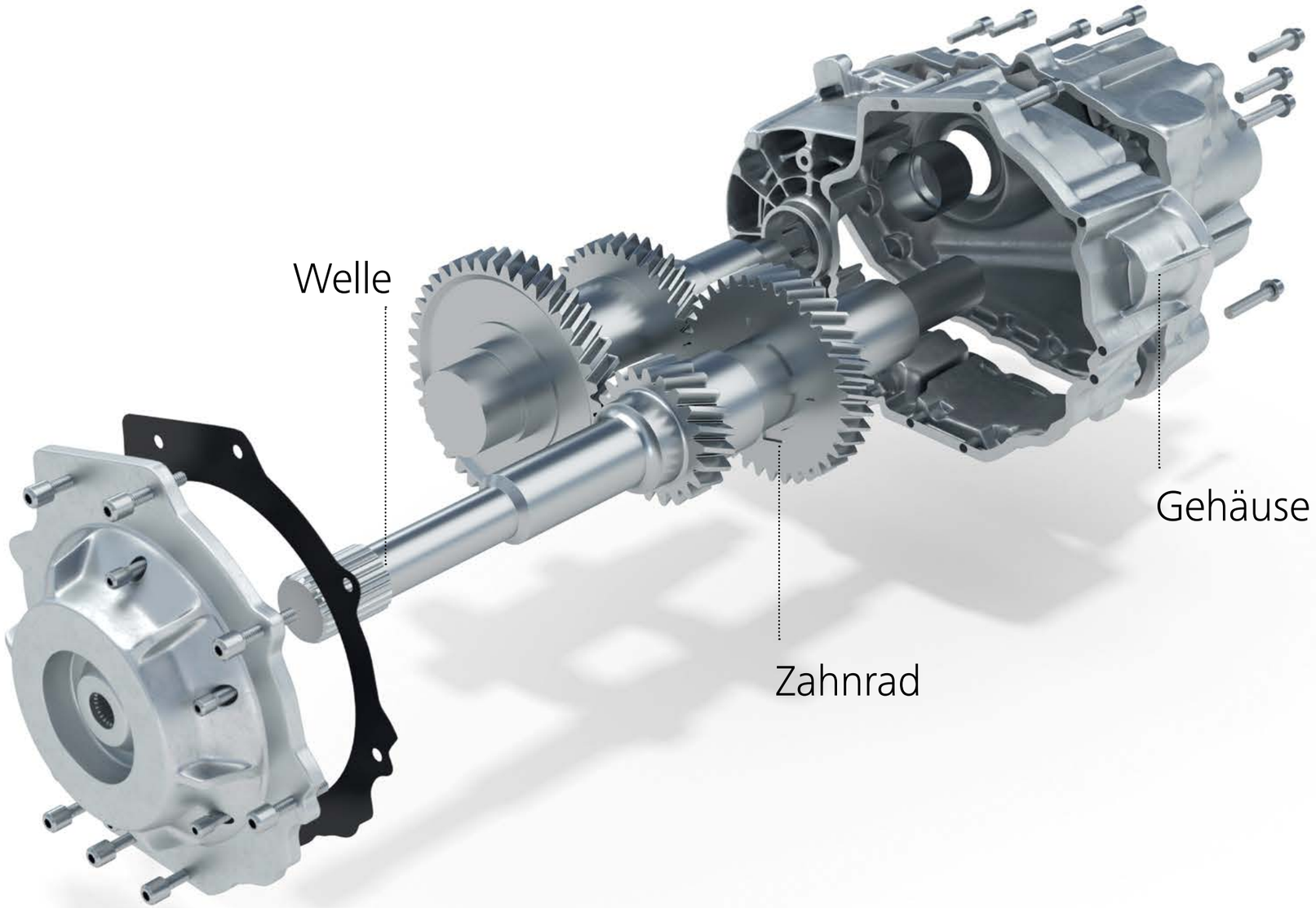
Der Antriebsstrang bei Elektrofahrzeugen ist vollkommen anders – Eingang- oder Zweiganggetriebe ersetzen die bis zu neun Gänge bei Verbrennungsmotoren. Motor und Getriebe teilen sich ein Gehäuse – dies reduziert die Anzahl der Komponenten und das Gewicht, nicht aber die Qualitätsanforderungen. Es sind diverse Mess- und Prüfschritte erforderlich um höchste Leistung, geringen Verschleiß und einen leisen Betrieb zu gewährleisten. Das ZEISS Portfolio bietet für jede Messaufgabe das passende Gerät und ist in enger Abstimmung mit den Fahrzeugherstellern und deren Lieferanten, um die bestmögliche Lösung anzubieten.

Getriebe

Hohe Motordrehzahlen von bis zu 20.000 U/min bedeuten, dass die Zahnräder im Getriebe sehr enge Toleranzen einhalten müssen. Die Form- und Lagetoleranzen der Rotor- und Getriebewellen sind aufgrund der hohen Drehzahlen herausfordernd, insbesondere dort, wo sich Lager und Zahnräder befinden.

Da sich Elektromotor und Getriebe im selben Gehäuse befinden, ist eine sehr komplexe und dennoch leichte Konstruktion erforderlich, die eine präzise Bearbeitung am Gussgehäuse erfordert. Geringste Abweichungen in Form, Größe, Position oder in der Oberflächenstruktur dieser Komponenten können die Funktionalität und die Sicherheit des Antriebsstrangs beeinträchtigen.

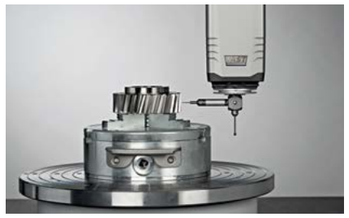
ZEISS verfügt über alle Messsysteme, die zur Durchführung derartig anspruchsvoller Inspektionen erforderlich sind. Die Computertomographie kann zerstörungsfrei Materialdefekte innerhalb eines Gussteils für ein Getriebegehäuse ersichtlich machen. Koordinatenmessgeräte verfügen über Sensoren für Maß-, Form- und Lagetoleranzen sowie einen Rauheitssensor für die Oberflächenqualität, die hochgenaue Messungen der verbleibenden Getriebekomponenten durchführen können. Neben der Entwicklung wegweisender Messtechnologien wird ZEISS auch weiterhin mit Rat und Tat zur Seite stehen, um sicherzustellen, dass die Kunden Ihre Produktionsanlagen optimal auslasten können.



Zahnräder

Die Qualitätssicherung bei Zahnrädern stellt eine große Herausforderung dar, unabhängig davon, ob die Fahrzeuge über einen Verbrennungsmotor, einen Elektromotor oder einen Hybridantrieb verfügen. In Elektrofahrzeugen sind weit weniger Verzahnungsbauteile verbaut, als in Verbrennungsmotoren. Aufgrund der hohen Drehzahlen, verbunden mit hohen Drehmomenten und dem Streben nach geräuscharmen, energieeffizienten Getrieben gewinnt die Messtechnik zunehmend an Bedeutung.

Höchste Genauigkeitsanforderungen



Zahnradmessung auf Drehtisch mit ZEISS KMG und ZEISS CALYPSO

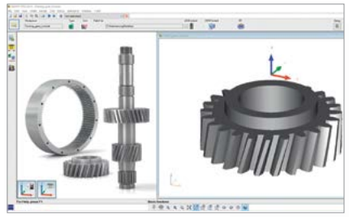
Die Toleranzanforderungen an Zahnräder sind extrem hoch und bewegen sich im wenigen µm-Bereich. Ein Grund hierfür sind unter anderem die hohen Drehzahlen sowie die hohen Geräuschanforderungen. Um diese Qualitätsanforderungen nicht nur schnell, sondern präzise bewerten zu können, bedarf es eines Messgerätes, welches mit höchster Genauigkeit die geforderten Messaufgaben erfassen kann. Die ideale Lösung hierfür ist ein KMG von ZEISS mit taktilem Messkopfsystem in Kombination mit einem Drehtisch.

Oberflächenqualität der Zahnflanken

Rauheitsmessung an Zahnflanke und Auswertung im Rauheitsplot

Ein E-Motor ist leiser als ein Verbrennungsmotor. Aus diesem Grund sind Geräusche von E-Motor und Getriebe von besonders großer Bedeutung. Geräusche können sowohl von Maß-, Form- und Lageabweichungen der Komponenten (Welle, Lager, Zahnrad), als auch von Oberflächenabweichungen resultieren. Die in ihrer Mikrogeometrie optimierten Zahnflanken müssen somit hinsichtlich der Oberflächenqualität, speziell im Hinblick auf Rauheits- und Welligkeitsparameter, gemessen und bewertet werden.

Parameteroptimierung und Reporting



Benutzeroberfläche von ZEISS GEAR PRO und Reporting in ZEISS PiWeb

Zahnräder, speziell Schrägverzahnungen, werden oft mit besonderen Flankenmodifikationen (z.B. Balligkeiten, Rücknahmen, Winkelmodifikationen) hinsichtlich Geräusch- und Effizienzverhalten optimiert. Zur sicheren Erfassung und Bewertung bedarf es einer anwenderfreundlichen, grafisch interaktiven Zahnradmesssoftware. Nicht nur die Messprogrammerstellung, sondern auch das Reporting und das Datenmanagement müssen funktional und anwendungsorientiert sein.

Prüfung von Gussteilen

3D-Röntgenscans und Auswertung von Gussdefekten

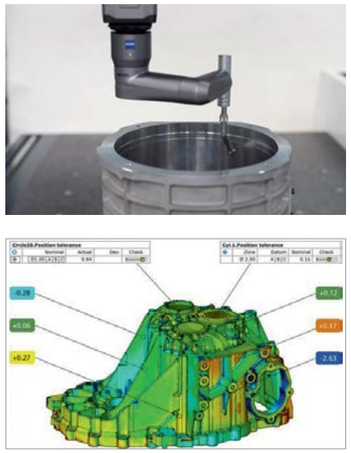
Für Elektro- oder Hybridfahrzeuge ist ein geringes Batteriegewicht von großer Bedeutung. Gehäuse aus Aluminiumguss haben eine optimierte Geometrie und dünne Wandstärken, was das Kühlverhalten verbessert und das Gewicht reduziert. Dadurch haben die Fahrzeuge eine größere Reichweite. Allerdings können Defekte in den dünnen Strukturen der Gehäusewand den Kühlkreis-lauf und damit die Sicherheit von Elektromotor und der Kraftübertragung beeinträchtigen. Mit CT Lösungen von ZEISS lassen sich Abweichungen effektiv erkennen.

Dimensionelle Messtechnik

Gehäusemessung mit der taktilen Scanning-Technologie von ZEISS

Durch die Integration von Elektromotor und Getriebe in einem einzigen Gehäuse, werden im Herstellungsprozess komplexe voneinander abhängige Geometrien erzeugt. Form, Größe und Lage dieser Bauteile weisen enge Toleranzen auf. Das taktile, aktive Scanning von ZEISS in Kombination mit flexiblen und steifen Tastern sowie einem Drehtisch erfüllen sämtliche Messaufgaben. Mit der intelligenten Software von ZEISS für die Auswertung und das Reporting lassen sich auch die kleinsten Abweichungen visualisieren, interpretieren und kontrollieren.

Oberflächen- und Konturmessung



Erfassung von Rauheits- und Konturdaten und Flächenvergleich eines Getriebegehäuses

Geometrie-, Oberfläche- und Konturanforderungen des Gehäuses benötigen eine effiziente Messtechnik. Ein taktiler Rauheitssensor auf einem Koordinatenmessgerät von ZEISS wertet alle gängigen Oberflächenparameter aus. Mit der optischen konfokalen Weißlicht-Technologie lassen sich hochpräzise Konturmessungen ausführen, z.B. Fasen oder Radien von Lagerbohrungen. Für die vollflächige Digitalisierung des Gehäuses eignet sich die ATOS ScanBox 4105 von GOM. Die kompakte Messmaschine liefert vollautomatisch flächenhafte Abweichungen zwischen den 3D-Ist-Koordinaten und den CAD-Daten.

Gehäuse

Elektromotor und Getriebe teilen sich in der Regel ein Gehäuse im Antriebsstrang. Dies erfordert eine sehr komplexe Bauweise, gleichzeitig sollten die Bauteile so leicht wie möglich sein, um die Reichweite des Fahrzeugs zu erhöhen. Dies hat eine sehr geringe Wandstärke der Bauteile zur Folge.
Die Gehäuse werden üblicherweise im Druckgussverfahren aus Aluminium hergestellt und dann weiter mechanisch bearbeitet. Aufgrund der zahlreichen Bearbeitungsschritte müssen am Gehäuse viele verschiedene geometrischen Elemente gemessen werden.

1 Beratung.

Kontaktieren Sie uns, um einen Beratungstermin zu vereinbaren.

2 Analyse.

Ermittlung der spezifischen Qualitäts-anforderungen und der daraus resultierenden Bedürfnisse.

3 Individualisierung.

Das ZEISS-Team ent-wickelt eine individuelle Lösung für Sie.

SCAN MICH

ZEISS **eMobility Solutions**

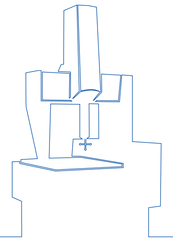
Erfolg individuell gestalten

Batterie | Brennstoffzelle | Leistungselektronik | Getriebe | Elektromotor

Mikroskopie

Mit Licht-, Elektronen- und Röntgenmikroskopen sowie Systeme für die Bildgebung stellt ZEISS Lösungen für ein breites Anwendungsspektrum bereit. Für die Entwicklung und Qualitätssicherung im Bereich der E-Mobilität bietet ZEISS maßgeschneiderte Lösungen, um die steigende Nachfrage nach Mikrostrukturanalysen von Batterie- und elektronischen Komponenten sowie der optischen Inspektion kleinster Bauteile zu adressieren, wie zum Beispiel:

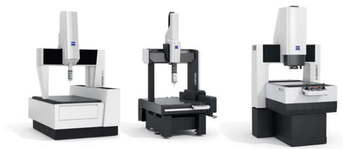
- **ZEISS Smartzoom 5**
- **ZEISS GeminiSEM 300**
- **ZEISS LSM 900 Mat**



Koordinatenmessgeräte

Das breite Portfolio an Koordinatenmessgeräten von ZEISS vereint hochgenaue taktile und optische Messsysteme mit einer hohen Messgeschwindigkeit. Da es durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs immer wichtiger wird, Komponenten mit kleinsten Toleranzen zu prüfen, gewinnen Koordinatenmessgeräte zunehmend an Bedeutung. Dafür bietet ZEISS Lösungen wie:

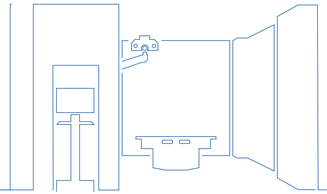
- **ZEISS PRISMO**
- **ZEISS CONTURA**
- **ZEISS O-INSPECT**



3D-Scanning

Mit der optischen 3D-Scanning-Messtechnik von ZEISS und GOM ist es möglich mit hoher Genauigkeit und Geschwindigkeit zu messen, digitalisieren und auszuwerten. Für eine umfassende Qualitätskontrolle von E-Motoren- und Batterieanwendungen können Streifenlichtprojektoren oder tragbare Laser-Triangulationsscanner während sowie am Ende des Produktionsprozesses eingesetzt werden wie:

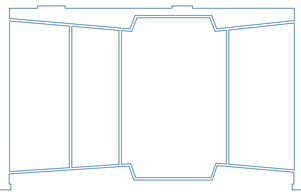
- **ZEISS T-SCAN Hawk**
- **ATOS Q**



3D-Messmaschinen

Für die effiziente Qualitätskontrolle verschiedener Komponenten der E-Mobilität führt GOM standardisierte optische 3D-Messmaschinen im Portfolio. Die Systeme decken alle Prozessschritte ab: von der Programmierung über die automatisierte Digitalisierung bis hin zu Inspektion und Reporting. Zur Analyse vollautomatischer flächenhafter Abweichungen zwischen den 3D-Ist-Koordinaten und den CAD-Daten bietet GOM Lösungen wie:

- **ATOS ScanBox for eMotors**
- **ATOS ScanBox**



Computertomographie

ZEISS X-Ray Series zeigt auf zerstörungsfreie Weise, was sonst selbst dem wachsamsten Auge verborgen bleibt. Um den mit der Elektromobilität verbundenen Sicherheits- und Leistungsanforderungen gerecht zu werden, ist die Qualitätssicherung innerer und äußerer Strukturen der Komponenten von entscheidender Bedeutung. Hierfür bietet ZEISS Röntgenlösungen wie:

- **ZEISS METROTOM**
- **ZEISS Xradia**
- **ZEISS VoluMax**

Connect to Productivity
and manufacture a better future

Weitere Informationen:
www.zeiss.de/emobilitysolutions

DE_60_021_0007III Gedruckt in Deutschland CZ-II/2021
Änderungen in Ausführung und Lieferumfang sowie technische Weiterentwicklung vorbehalten.
Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier. © Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH