

PERMANENTE GEOMETRISCHE DIGITALISIERUNG DER FLUGZEUGKABINE ZUR ÄNDERUNGSNACHVERFOLGUNG

F. Rauscher, J. Biedermann, A. Gindorf, F. Meller, B. Nagel
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt, Hein-Saß-Weg 22, 21129 Hamburg, Deutschland

Zusammenfassung

Optische Messtechnik ermöglicht es, ein reales Produkt immer in dessen aktuellen Zustand, inkl. all seiner Details, zu digitalisieren. Dadurch lassen sich Abweichungen der Produkte durch die Fertigung erkennen und Änderungen der Objekte über den gesamten Lebenszyklus identifizieren. So kann die reale Welt, mit all ihren Fehlern und Ungenauigkeiten, digitalisiert und dadurch Abgleiche zwischen den physischen Objekten und den dazu gehörigen Computermodellen erstellt werden. Bei einer Anhäufung von gleichen Fehlern können diese im Entwurfsprozess berücksichtigt werden. In der Industrie 4.0 ist neben dem vernetzten Produkt auch die Vernetzung der Maschinen in der Produktion vorgesehen. Mit optischer Messtechnik sollen Kontrollmechanismen entwickelt werden, die die Maschinen in der robotergestützten Produktion überwachen, um die Integration und genaue Positionierung der Objekte und Systeme zu gewährleisten. Durch einen Abgleich der Geometrien in den 3D-Aufnahmen und einer Datenbank, die Computermodelle von Kabinensystemen enthält, sollen einzelne Objekte und Systeme erkannt und identifiziert werden. Dadurch lassen sich Abweichungen in der Geometrie oder der Position der Objekte automatisiert bestimmen. Mit 3D-Aufnahmen kann auch eine Schnittstelle zwischen der realen Welt und dem virtuellen Produkt geschaffen werden. So kann Kunden die Möglichkeit gegeben werden, ihre Flugzeugkabine, schon während der Produktion durch einen virtuellen Rundgang, z.B. in Virtual Reality, zu besichtigen und sich bestimmte Details, wie bspw. Fertigungsfehler, in vergrößerten 3D-Ansichten an deren Positionen anzeigen zu lassen. Dadurch erhalten sie ein größeres Verständnis der Beschreibung, Form und Lage eines Fehlers.

Keywords

Luftfahrt; Kabine; optische Messtechnik; Digitalisierung; virtuelles Abbild

1. EINLEITUNG

Durch die anhaltende Digitalisierung in der Entwicklung, der Produktion und dem Betrieb eines Luftfahrzeuges sind aus allen Lebenszyklen eine Vielzahl von digitalen Daten vorhanden. Diese gilt es im Hinblick auf effizientere und sicherere Flugzeuge auszuwerten und zu verwenden. Die Daten, deren durchgängige Verfügbarkeit als „Digitaler Faden“ bezeichnet wird, lassen sich mit dem digitalen Zwilling, einem eindeutig identifizierbaren digitalen Abbild des realen Produktes, verknüpfen. Das Verbinden der Daten aus unterschiedlichsten Quellen ermöglicht es Synergien aufzudecken und somit die komplexen Systeme in der Luftfahrt zu gliedern und zu analysieren. Ein wesentlicher Forschungsinhalt der Abteilung Kabine und Nutzlastsysteme am Institut für Systemarchitektur in der Luftfahrt ist die Digitalisierung des Entwurfsprozesses für Systeme der Flugzeugkabine und des Frachtbereiches. Hierbei ist ein kontinuierlichen Datenstrom von der Entwurfsphase zur Produktion und zurück besonders wichtig.

Die permanente Aktualisierung der geometrischen Daten bietet eine Schlüsseltechnologie zur Digitalisierung der Luftfahrt. In dieser Arbeit werden erste Vorgehensweisen im spezifischen im Bereich der Flugzeugkabine, zur Digitalisierung einzelner Kabinen- und Systemobjekten bis

zu ganzen Flugzeugsektionen vorgestellt. Die Verfahren erfassen eine Kabine in deren aktuellen Zustand. Dadurch kann ein permanenter Abgleich der Kabine zu Referenzdaten erstellt werden. Auch wenn DMU¹-Daten der Kabine vorhanden sind, so entsprechen sie, wenn überhaupt, nur für einen kurzen Zeitpunkt dem eigentlichen Zustand der Kabine. Fertigungsbedingte Unsicherheiten sind nur ein digitalisierten Aufnahmen identifizierbar. Diese Daten können als Grundlage für Retrofit- und Versuchsplanung dienen, da bei letzterem oft nicht dokumentierte Änderungen an der Kabine vorgenommen werden. Auch zur Identifizierung einzelner Anbringungspunkte für die robotergestützte Fertigung sind aktuelle Daten der Systeme einer Kabine notwendig.

Als Messverfahren bietet sich die optische Messtechnik an. Dieses Verfahren stellt hochauflösende, dreidimensionale Daten zur Verfügung. Ziel ist es, die Daten so auf zu arbeiten, dass sie dem Digitalen Faden der Kabine hinzugefügt werden kann. Somit ist der Digitale Zwilling auf aktuellstem Zustand und die Daten zentral hinterlegt. Anschließend sollen die Daten in Virtual Reality Anwendungen betrachtet werden können. So das schnell einen visuellen Eindruck der Kabine auch an nicht Experten vermittelt werden kann.

¹ Digital Mock-Up

Optische Messverfahren bieten zudem die Möglichkeit, in DMU-Modellen nicht dargestellte Einzelteile, wie Brackets oder andere Anbringungspunkte, zu digitalisieren. Diese sind für die robotergestützte Fertigung essentiell. Des Weiteren können Kabinenelemente digital erfasst werden, zu denen keine 3D-Daten vorhanden sind. Dies ist ein Beitrag zur Zielerreichung des Virtuellen-OEMs² im DLR.

Dazu stehen hochgenaue 3D-Scanner sowie ein Kabinen Mock-Up eines Airbus A319 und Robotik zur Verfügung.

2. GRUNDLAGEN

Dieser Abschnitt behandelt die Grundlagen dieser Arbeit. Zunächst wird der Begriff des Digitalen Zwillinges näher erläutert, wobei hier der Fokus auf die Verwendung im Entwurfsprozess gesetzt wird. Anschließend erfolgt die Beschreibung von Verfahren zur Digitalisierung mittels optischer Messtechnik von der Datenerfassung zur Weiterverarbeitung als geschlossen Oberflächenmodelle.

2.1. Digitaler Zwilling

Der Ausdruck „Digitaler Zwilling“ ist ein in der Industrie 4.0 häufig verwendeter Begriff. Er fand zunächst Erwähnung in NASA's³ Technologiezielen zum Thema 11: Modellierung, Simulation, Informationstechnologie und Processing. Dort wird der Digitale Zwilling beschrieben, als eine multiphysikalische, Multiskalensimulation eines Fahrzeuges bzw. Systems, das neben hochgenauen physischen Modellen auch Sensordaten aus dem laufenden Betrieb des Systems, sowie Informationen über den Wartungsverlauf und der Flottenhistorie beinhaltet. Somit stellt der Digitale Zwilling ein digitales Modell zu seinem fliegenden, fahrenden oder im Betrieb befindlichen Doppelgänger dar, wobei jedes individuelle System, d.h. jede MSN⁴ wird von einem eigenen Digitalen Zwilling repräsentiert. Dadurch soll die Lebensdauer des realen Systems wiedergespiegelt werden [1][2]. Ein digitaler Zwilling besteht aus drei Teilen:

- 1) dem physikalischen Produkt,
- 2) dem virtuellen Produkt und
- 3) der Verknüpfung zwischen dem physikalischen und dem virtuellen Produkt.

Tao et al. hebt hervor, dass der Digitale Zwilling als Brücke zwischen der physikalischen und der digitalen Welt dient, über welche Informationen in beide Richtungen ausgetauscht werden [3]. Durch das Verknüpfen all dieser Daten beschreibt der Digitale Zwilling zu jedem Zeitpunkt den aktuellen Zustand des physischen Objektes, wie z.B. einem Flugzeug. Somit können Aussagen über die Fehlerdiagnose, Leistungsanalysen, verbleibende Nutzungsdauer, potentielle strukturelle Schäden und weitere getroffen werden, wodurch sich unter anderem optimale Wartungsintervalle für die Systeme bestimmen lassen.

Bisher fand der Digitale Zwilling in der Luftfahrt vor allem Anwendung in Bereichen wie der strukturellen Vorhersage der Lebensdauer, sowie Methoden für die Schadenscharakterisierung des strukturellen Gesundheitsmanagements eines Flugzeuges. Auch um

Schäden in Echtzeit zu finden oder den Produktzustand im Produktlebenszyklus vorherzusagen zu können gibt es Verfahren, wodurch die Prognosen für Betrieb und Wartung genauer werden. Jedoch wurden der Einsatz von Digitalen Zwillingen im Entwurfsprozess der Systeme bisher wenig betrachtet, worin Tao et al. [3] jedoch ein großes Potential sieht. Wärmefjord et al. [4] beschreiben den Nutzen von 3D-Scanner Daten für den Entwurfsprozess und sehen unter anderem die Möglichkeit einer Echt-Zeit Optimierung von Fertigungsprozessen mit verbesserter Produktqualität und Kostenreduzierung.

2.2. Digitalisierung mittels optischer Messtechnik (Structured Light)

Zur Digitalisierung vorhandener Objekte und Systeme eignet sich die Koordinatenmesstechnik, bei der die Oberfläche physischer Objekte mittels einer endlichen Anzahl von Messpunkten beschrieben wird. Neben taktilen Systemen, bei denen die Oberfläche mit Tastern erfasst wird, gewinnt die optische, berührungslose Messtechnik seit Jahren an Bedeutung. Optische Messtechnik ermöglicht es in kurzer Zeit eine große Anzahl von Messpunkten zu erfassen und ist dadurch deutlich schneller und kostengünstiger. Da die Oberfläche kontaktlos erfasst wird, sind die Verfahren vor allem für empfindliche und weiche Oberflächen geeignet. Zudem wird die Struktur durch das Messsystem nicht verändert. Jedoch ist die Abhängigkeit von der Umgebungsbeleuchtung nachteilig. Die optische Messtechnik dient zum einen als Grundlage für Reverse Engineering Anwendungen im Bereich Design oder CAD-Konstruktionen, bietet aber auch eine effiziente Methode zur flächenhaften 3D-Erfassung von physischen Objekten. Sie ermöglicht es, komplexe Objekte und Systeme zu digitalisieren und so z.B. Soll-Ist Vergleiche durch zu führen [5]. Nach Hehenberger [5] und Schuth & Buerakov [6] eignen sich vor allem Triangulationsverfahren zur Digitalisierung. Hierzu zählen Lichtschnitt- und Streifenprojektionsverfahren, wobei für flächenhaftes Messen das letztere Verfahren durch einen größeren Messbereich vorteilhaft ist.

Diese Verfahren projizieren eine Laserlinie, bzw. bei dem Streifenprojektionsverfahren ein kodiertes Streifenmuster auf die zu digitalisierende Oberfläche. Die Linie, bzw. das Muster, welches durch die Oberfläche verzerrt wird, wird von meist zwei Kameras erfasst. Diese Anordnung wird als Stereokameraprinzip bezeichnet und bietet ein Höchstmaß an Flexibilität und Präzision. Der typische Aufbau dieses Prinzips ist in Bild 1 dargestellt. Voraussetzung für die Triangulationsverfahren sind die exakte Kenntnis der Lage und Orientierung von Projektor und Kamera. Dazu gehören der Winkel α , der Abstand b der Kameras zueinander und der Grundabstand a zwischen dem System und der zu scannenden Oberfläche. Anschließend lässt sich mittels Triangulation ein Höhenprofil der Oberfläche berechnen. [5][6][7]

Dabei erfasst das Digitalisierungssystem die Oberfläche des Objektes mittels numerischer Messpunkte, so dass diskrete Punkte die Oberfläche in kartesischer Koordinatenform beschreiben. Anschließend wird zur digitalen Archivierung von physischen Objekten eine Flächenrückführung empfohlen, die aus der gemessenen Punktwolke eine durchgängige Oberfläche erzeugt.

² Original Equipment Manufacturer

³ National Aeronautics and Space Administration

⁴ Manufacturer Serial Number

Dadurch bietet sich eine bessere Vorstellung des Objektes, da Vorder- und Rückseiten leichter zu identifizieren sind. So lassen sich Verschleiß und Geometrieänderungen in Falschfarb-Darstellungen verdeutlichen [5][6].

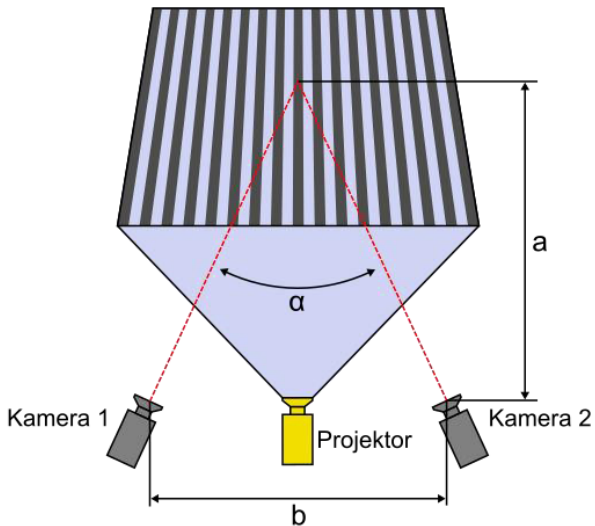


BILD 1. Streifenprojektionsverfahren

Einige Software Anwendungen von 3D-Scannern bieten die direkte Möglichkeit, Punktwolken von Objekte als vernetzte Oberfläche auszugeben. Auch wenn die Methode zur Vernetzung oft nicht veröffentlicht wird, ist davon auszugehen, dass es sich dabei um die Delaunay-Triangulation handelt [8]. Anwendung findet dieses Verfahren beispielsweise in Cazales und Giesen [9]. Bei der Dreiecksvermaschung werden drei Punkte zu Dreiecken zusammengefasst und ein Polygonnetz berechnet. Bild 2 stellt diesen Vorgang dar. Durch das Verbinden der Punkte zu Dreiecksflächen kann nahezu jede beliebige Geometrie dargestellt werden. Die Genauigkeit der Oberfläche wird durch die Anzahl der Punkte, bzw. der Dreiecke charakterisiert. So kann mit einer hohen Anzahl von Punkte zwar eine sehr genaue Wiedergabe der Oberfläche erfolgen, jedoch auch die zu verarbeitende Datenmenge schnell ansteigen.

Soll das gescannte Objekt für Konstruktionen in CAD-Anwendungen zur Verfügung stehen, so muss das Polygonnetz in ein parametrisch-beschreibbares Netz (z.B. NURBS⁵-Flächen) überführt werden, um die Datenmenge zu reduzieren. Dazu wird das Polygonnetz zunächst in kleine, mathematisch einfach zu beschreibende Flächen unterteilt. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass das Programm zur Flächenrückführung zu parametrisch beschreibbaren Netzen nur eine Annäherung der erzeugenden Oberfläche an die Punkte der Aufnahmen durchführt. Mittels eines Falschfarben-Vergleiches kann der Unterschied zwischen Punktwolke und Oberfläche angezeigt werden [5]. Daher sind für die Qualitätskontrolle von Objekten und Systemen, wie der Soll-Ist Vergleiche, Polygonnetze mit einer hohen Anzahl von Oberflächenpunkten vorzuziehen.

⁵ Non-uniform rational B-Splines

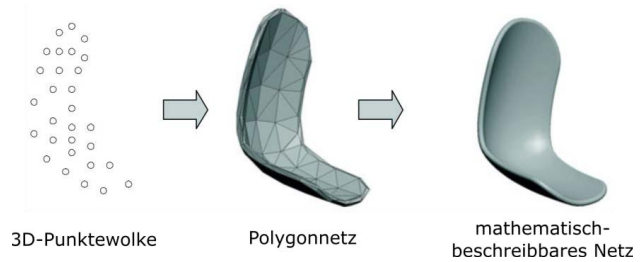


BILD 2. Flächenrückführung, nach [5]

Nach Schuth & Buerakov [6] weist das Streifenprojektionsverfahren eine max. Genauigkeit von 0,003 mm bei kleinen Messfeldern für kleinste Objekte auf. Um bei großen Objekten eine hohe Genauigkeit zu erhalten und den fortlaufenden Fehler zu minimieren, können die oben beschriebenen Verfahren mit Photogrammetrie Systemen ergänzt werden [7]. Dabei werden die Aufnahmen aus den Triangulationsverfahren mit denen aus dem Photogrammetrie-System überlagert. In Verbindung mit Farbkameras ist auch das Erfassen von Oberflächenfarben und -texturen möglich. Dadurch lassen sich hochdetaillierte virtuelle Abbilder der physischen Objekte erstellen.

Nachteilig erweisen sich transparente und spiegelnde Oberflächen, wodurch eine inhomogene Intensitätsverteilung im reflektierten Licht entsteht. Um einen hinreichend großen Kontrast im Streifenmuster zu erzeugen, sollten die Oberflächen aus einem möglichst diffus streuenden Material bestehen [6][7].

3. ANWENDUNGSSZENARIEN

In der Abteilung Kabine und Nutzlastsysteme am Institut für Systemarchitektur in der Luftfahrt werden verschiedene Szenarien zur Verwendung von optischer Messtechnik zur Digitalisierung von physischen Objekten und Systemen entwickelt. Die Digitalisierungen dienen entweder als Eingabedaten für den Digitalen Zwilling oder für weitere digitale Anwendungen wie z.B. Virtual Reality. Im Folgenden werden diese Szenarien beschrieben.

3.1. Digitaler Soll-Ist Vergleich

Die Qualität produzierter Produkte muss üblicherweise geprüft werden. Dazu werden Ist-Daten der Objekte mit Referenzdaten (Soll-Daten), wie z.B. aus CAD-Modellen, verglichen. Auch wenn sich die Fertigungsprozesse immer weiter verbessern, treten trotzdem weiterhin Abweichungen zwischen dem produzierten Produkt und der Soll-Kontur auf. Gründe hierfür können unter anderem verschlissenes Werkzeug, thermische Ausdehnung oder aber Materialfehler sein [10].

Optische Messtechnik ist ein Verfahren, das es ermöglicht, ein physisches Objekt immer in dessen aktuellen Zustand zu digitalisieren, sei es direkt nach der Fertigung, oder im weiteren Verlauf seines Lebenszyklus. In der Fertigungskontrolle werden diese Abgleiche schon länger eingesetzt, um die Qualität der Produkte zu gewährleisten und den Fertigungsprozess ggf. anpassen zu können. Ein Soll-Ist Vergleich ist beispielhaft in Bild 3 dargestellt, an einem 3D gedruckten Modell einer DO228. Typische Anwendungsfelder sind Guss- oder Blechprodukte. Verschiedene Ansätze sind in Wolf et al.

[10], Xu et al. [11] und Bergström et al. [12] beschrieben. Da die Messtechnik die Objekte immer in dessen aktuellen Zustand erfasst, sind auch zu einem späteren Zeitpunkt Unterschiede zu den Soll-Geometrien darstellbar. So lassen sich die aktuellen Geometrien der Objekte, z.B. der Kabinausstattung wie Sitze oder Hatracks, erfassen und Abweichungen, durch z.B. Abnutzungen und Verschleiß aufgrund intensiver Nutzung identifizieren. All diese Informationen werden anschließend dem Digitalen Zwilling hinzugefügt, sodass dieser ein genaues und aktuelles Bild des Zustands seiner Systeme besitzt. Dadurch lassen sich Wartungsintervalle besser vorhersagen und den Austausch von Systemen besser planen.

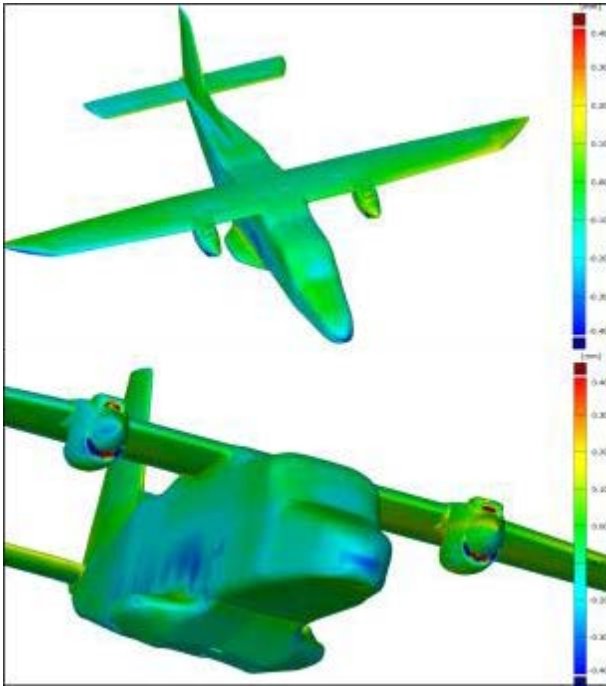


BILD 3. Soll-Ist Vergleich, Bsp. an einem 3D-gedruckten Modell der DO228

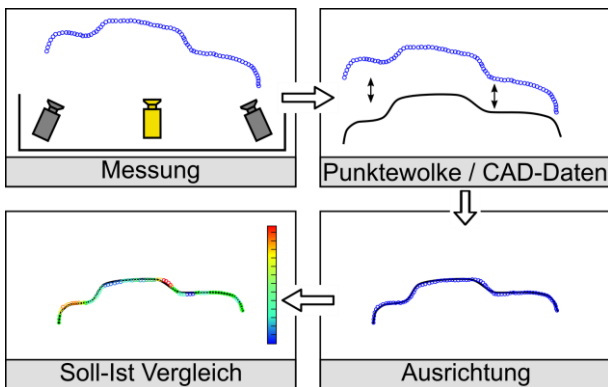


BILD 4. Illustration des Ablaufs eines Soll-Ist Vergleiches

Das Erstellen von digitalen Soll-Ist Vergleichen folgt einem festgelegtem Schema, welches in Bild 4 darstellt ist. Zunächst erfasst das Messsystem die Ist-Oberfläche des zu vermessenden Objektes und gibt diese als Punktwolke oder als geschlossene Oberfläche (Polygonnetz) aus. Da das erfasste Objekt willkürlich im Raum ausgerichtet ist, erfolgt nun die Orientierung bezüglich des Referenzmodells (CAD-Daten). Dies

geschieht meist mittels eines Best-Fit Algorithmus. Anschließend lassen sich die Abweichungen durch Fertigungsfehler und -ungenauigkeiten sowie der Verschleiß zwischen der Ist-Oberfläche und dem CAD-Modell farbig darstellen, wie es in Bild 3 gezeigt wird. So lassen sich Qualitätsaussagen über die Geometrie der gemessenen Objekte einfach und deutlich darstellen [12].

3.2. Qualitätssicherung und Montageüberwachung

Ein Ansatz der Industrie 4.0 ist die Vernetzung der Maschinen in der Produktion. So sollen mit der optischen Messtechnik Kontrollmechanismen entwickelt werden, die die robotergestützte Montage überwachen. Die Objekterkennung bietet hier die Möglichkeit, Objekte aus den 3D-Aufnahmen heraus zu identifizieren. Dazu soll ein System entworfen werden, das einen wissensbasierten Abgleich zwischen den digitalisierten Objekten und Systemen in den 3D-Aufnahmen und einer Datenbank ermöglicht und die Objekte so identifiziert. Die Datenbank soll Computermodelle der Kabinenelemente als Referenzdaten enthält. Dabei geht es zum einen um das Identifizieren ganzer Module, um deren Einbau zu bestätigen, aber auch kleiner Objekte, wie Brackets und Anbringungspunkte, die zur robotergestützten Montage benötigt werden. Schon heute wird 3D Sensortechnik dazu eingesetzt. So haben Munaro et al. [13] in dem Projekt 3DComplete Methoden zur Objekterkennung in Punktwolken entwickelt.



BILD 5. Abstand zwischen Wandelementen in der Flugzeugkabine

Neben der Vollständigkeitskontrolle von Montageteilen ist die Qualitätssicherung der Lage der Bauteile von hoher Bedeutung. Wie Jayaram & Mohanaraj [14] und Kosmopoulos & Varvarigou [15] in ihren Arbeiten hervorheben, ist die Maßqualität der Position von Bauteilen in der Montage besonders wichtig. So haben Sicherheitsaspekte einen großen Einfluss. Unzureichend oder falsch angebrachte Bauteile innerhalb der Kabine können im Fall von Turbulenzen oder unerwarteten Zwischenfällen zur Gefahr für Passagiere und Crew werden, sollten sich diese aus ihrer Verankerung lösen. Hinzu kommen vor allem ästhetische Aspekte, da der erste Eindruck der Kabine schnell über die Qualität urteilen lässt, unabhängig von der Funktionalität. Ästhetische Aspekte können von den Kunden und Passagieren optisch schnell erfasst werden, wie bspw.

nicht parallel angebrachte Wandelemente (Sidewall-Linings) in der Kabine (Bild 5). Dies kann in ihren Augen für mangelnde Qualität sprechen, aber auch das Sicherheitsgefühl der Passagiere in das Flugzeug herabsetzen.

So sollen automatische Kontrollmechanismen, die mit optischer Messtechnik arbeiten, eingesetzt werden, um einerseits die Vollständigkeit und richtige Platzierung der Systeme zu garantieren, aber auch die korrekte Positionierung sicher zu stellen. Optische Messsysteme ermöglichen eine konstante und konsistente Qualität der Überprüfungen. Die Genauigkeit der Systeme ist hoch und die Gefahr durch Schäden an den Bauteilen aufgrund der berührungslosen Messungen sehr gering. Die vorhandenen Daten zur Messung können automatisch dem Digitalen Zwilling des Flugzeugs hinzugefügt und dort entweder archiviert oder zu statistischen Auswertungen von Mängeln herangezogen werden [8]. Wie Kosmopoulos & Varvarigou [15] hervorheben, besteht durch den Einsatz von automatisierten Systemen eine drastische Kostensenkung für etwaige Kontrollen. Hierzu sollen für die Flugzeugkabinen optische Messsysteme in Verbindung mit mobilen, autonomen Robotern die Kontrollen durchführen, welche sich mit Menschen im selben Arbeitsraum bewegen können. Dabei spricht man auch von MRK⁶-fähige Robotersysteme. Bild 6 zeigt hierzu einen Ansatz mit dem Kuka LBR iiwa.

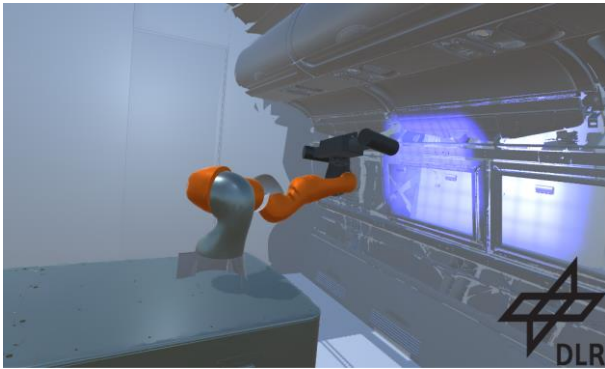


BILD 6. Simulation von 3D-Scanner auf dem Kuka LBR iiwa

Bichmann [7] nennt Messsysteme mit dem Streifenprojektionsverfahren als geeignete Technik zur Vollständigkeitskontrolle und der Lageerfassung von Objekten im Montagebereich. Dabei werden die Anforderungen von Effizienz, Zuverlässigkeit und Genauigkeit an das Verfahren gestellt, die gleichbleibend sein muss [11]. Wie oben schon beschrieben, weisen Streifenprojektionsverfahren Probleme bei spiegelnden und dunkelnden Oberflächen auf [15]. Hier gilt es Verfahren zu entwickeln, um diese Oberflächen trotzdem digital erfassen.

3.3. Virtueller Rundgang

Dreidimensionale Aufnahmen und Daten bieten eine Schnittstelle zwischen der realen Welt und einem virtuellem Produkt. Um diese Daten einem möglichst großen Publikum in einer einfachen Weise darstellen zu können, sollen virtuelle Rundgänge entwickelt werden.

⁶ Mensch-Roboter-Kollaboration

Diese ermöglichen es Unstimmigkeiten, wie z.B. Schäden oder Produktionsfehler, sichtbar zu machen und sie einem breiten Publikum darzustellen. So können diese mit Experten oder Kunden weltweit in Virtual Reality Umgebungen betrachtet und diskutiert werden, ohne eine verpflichtende Anwesenheit an einem bestimmten Ort. Auch können z.B. Kunden ihre Flugzeugkabine schon während der Produktion virtuell zu besichtigen. Hierbei sind Software Programme an einem Bildschirm oder Virtual Reality Anwendungen denkbar, die den Benutzer durch die Kabine führen. Mit hoch-detaillierten Aufnahmen lassen sich nun bestimmte Details, wie bspw. Fertigungsfehler an deren Position anzeigen. So erhält der Kunde ein größeres Verständnis von Beschreibung, Form und Lage der Details.

Virtuelle Rundgänge lassen sich in zwei Anwendungsfälle unterscheiden:

- 1) Einzelpanorama als sogenannte Hotspots miteinander verknüpfen [16] und
- 2) komplette Erfassung der Umgebung in 3D-Daten [17].

Der erste Anwendungsfall, auch als Panoramatour bezeichnet, wird häufig zur Darstellung von Kulturerbestätten, Museen, Industriestätten oder auch Immobilien eingesetzt. Hierbei werden zylindrische, sphärische oder kubische Panoramaaufnahmen an mehreren zentralen Positionen im Objekt gemacht, welche anschließend in einer Software zusammengefügt werden. Die Positionen der weiteren Aufnahmen sind in den Panoramabildern und auf einer Übersichtskarte dargestellt, so dass der Benutzer zu diesen „springen“ kann und von dort die Umgebung betrachtet. Dieser Ansatz wurde in Oh et al. [18] und Puranama [19] beschrieben. Wobei Wessels et al. [20] hervorhebt, dass dieses Verfahren fälschlicherweise oft als virtuelle Tour beschrieben wird, wobei hier nur von Panoramaaufnahme zu Panoramaaufnahme „gesprungen“ wird und der Benutzer sich nicht frei in der virtuellen Welt bewegen kann. Der zweite Anwendungsfall beschreibt nun diesen Vorgang, wozu Aufnahmen von dem Objekt durch 3D-Sensoren erfolgen müssen. Anschließend werden die Daten aus diesen Aufnahmen am Computer bearbeitet, sodass eine geschlossene Netzstruktur im Maßstab 1:1 entsteht. Dies kann entweder durch Reverse Engineering mit einer CAD-Software geschehen, oder durch Nachbereitung des Netzes der 3D-Aufnahmen. Das Oberflächenmodell des Objektes sollte eine vollständige Abbildung der Oberfläche ergeben und somit keine Lücken enthalten, damit der Betrachter sich einen richtigen Eindruck des Raumes enthält [17][20].

Es ist auch eine Kombination aus beiden Ansätzen denkbar, bei der der Betrachter sich durch, wie in unserem Fall, dem virtuellen Modell einer Flugzeugkabine bewegt und bestimmte Details in Panoramaaufnahmen oder hoch detaillierten 3D-Aufnahmen darstellen lässt.

4. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In dieser Arbeit werden verschiedene Konzepte für die Verwendung von optischer Messtechnik, wie 3D-Scanner, mit der Fokussierung auf die Flugzeugkabine vorgestellt. Diese reichen über Soll-Ist Vergleiche, die dem zur Kabine gehörigen Digitalen Zwilling hinzugefügt werden können, bis hin zum Erstellen virtueller Anwendungen

zum Erschließen der Kabine mit Detailansichten in verschiedenen Lebensphasen. Genauso soll die optische Messtechnik zur Kontrolle von Montageprozessen eingesetzt werden, hier speziell zur Objekt- und Lageerkennung der montierten Bauteile und Systeme.

Dabei hat sich gezeigt, dass optische Messtechnik die Schnittstelle zwischen der realen Welt und der virtuellen Welt ist, wodurch sich in den 3D-Abbildungen der Kabine alle Unsicherheiten widerspiegeln, die im DMU nicht zu erkennen sind. Diese Daten bieten eine Grundlage für den Digitalen Faden einer Flugzeugkabine, die sich im Digitalen Zwilling widerspiegelt. So können für Retrofit- und Versuchsplanungen auf diese Daten zurückgegriffen werden und während der Montage Zeit gespart werden.

In dem nächsten Schritt gilt es die Konzepte weiter aus zu arbeiten und erste Versuche durch zu führen. Dabei soll der vorhandene 3D-Scanner, welcher nach dem Streifenprojektionsverfahren arbeitet, eingesetzt werden. Als Versuchsfläche dient hauptsächlich ein Kabinen Mock-Up eines Airbus A319, welches sich im Labor des Instituts befindet (Bild 7). Dieses soll zunächst mittels dem 3D-Scanner komplett digitalisiert werden, um einen digitalen Zwilling zu erstellen. Im Bereich der Objekterkennung gilt es Systeme zu entwerfen, die die digitalisierten Objekte mit Datenbanken abgleichen und identifizieren können, um so deren Vollständigkeit zu bestätigen.



BILD 7. Airbus A319 Mock-up

Referenzen

- [1] Boschert, S.; Rosen, R.: *Digital Twin — The Simulation Aspect*. In Hehenberger P., Bradley D. (eds) *Mechatronic Futures* (S. 59-74). Springer, Cham. 2016
- [2] Shafto, M.; Conroy, M.; Doyle, R.; Glaessgen, E.; Kemp, C.; LeMoigne, J.; Wang, L.: *NASA technology roadmap: modeling, simulation, information technology & processing roadmap technology area 11*. Apr 2012
- [3] Tao, F.; Sui, F.; Liu, A.; Qi, Q.; Zhang, M.; Song, B.; Guo, Z.; Lu, S. C.-Y.; Nee, A. Y. C.: *Digital twin-driven product design framework*. In *International Journal of Production Research* (S. 3935-3953). 2019
- [4] Wärmefjord, K.; Söderberg, R.; Lindkvist, L.; Lindau, B.; Carlson, J. S.: *Inspection data to support a digital twin for geometry assurance*. In *ASME international mechanical engineering congress and exposition* (Vol. 58356). American Society of Mechanical Engineers. 2017
- [5] Hehenberger, P.: *Computergestützte Fertigung*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2011 – ISBN 978-3-642-13475-3
- [6] Schuth, M.; Buerakov, W.: *Handbuch optische Messtechnik*, Carl-Hanser-Verlag, München, 2017 – ISBN 978-3-446-43634-3
- [7] Bauer, N.(Hrsg.); Bichmann, S.: *Handbuch zur Industriellen Bildverarbeitung – Qualitätssicherung in der Praxis*, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2008 – ISBN 978-3-8167-7386-3
- [8] Kersten, T. P.: *Untersuchung zur Qualität und Genauigkeit von 3D-Punktwolken für die 3D-Objektmodellierung auf der Grundlage von terrestrischen Laserscanning und bildbasierten Verfahren*. Dissertation, Technische Universität Dresden, Fakultät Umweltwissenschaften. 2017
- [9] Cazals, F.; Giesen, J.: *Delaunay triangulation based surface reconstruction*. In: *Effective Computational Geometry for Curves and Surfaces* (S. 231-276). Springer. 2006.
- [10] Wolf, K.; Roller, D.; Schäfer, D.: *An approach to computer-aided quality control based on 3D coordinate metrology*, In *Journal of Materials Processing Technology* (S. 69-110), Volume 107, Issues 1–3, 2000, Pages 96-110
- [11] Xu, J.; Xi, N.; Zhang, C.; Shi, Q.; Gregory, J.: *Real-time 3D shape inspection system of automotive parts based on structured light pattern*. In *Optics & Laser Technology* (S. 1-8), Volume 43, Issue 1. 2011
- [12] Bergström, P.; Fergusson, M.; Folkesson, P.; Runnemalm, A.; Ottosson, M.; Andersson, A.; Sjö Dahl, M.: *Automatic In-line Inspection of Shape Based on Photogrammetry*, 7th International Swedish Production Symposium, SPS16, 2016
- [13] Munaro, M.; So, E. W. Y.; Tonello, S.; Menegatti, E.: *Efficient completeness inspection using real-time 3D color reconstruction with a dual-laser triangulation system*. In *Integrated Imaging and Vision Techniques for Industrial Inspection* (S. 201-225). Springer, London. 2015
- [14] Dr. Jayaram, K.; Mohanaraj, J.: *Influence of Tolerancing Methods and Aspects of Perceived Quality on Side closures of Luxury Cars*, 14th CRIP Conference on Computer Aided Tolerancing (S. 160-165), 2016
- [15] Kosmopoulos, D.; Varvarigou, T.: *Automated inspection of gaps on the automobile production line through stereo vision and specular reflection*. In *Computer in Industry* 46 (S. 49-63). 2001
- [16] Jacobs C.: *Virtuelle Rundgänge*. In: *Digitale Panoramen*. X.media.press. Springer, Berlin, Heidelberg. 2004
- [17] Kersten, T. P.; Walmsley, A. P.: *Der Kaiserdom in Königslutter als immersives 3D-Erlebnis durch Virtual Reality in Kombination mit 360-Panoramafotografie*. *Beträge der Oldenburger 3D-Tage 2020*, VDE Verlag GmbH, Berlin und Offenbach, S. 252-266. 2020

- [18] Oh, Y.; Parasuraman, R.; McGraw, T.; Min, B.-C.: *360 VR Based Robot Teleoperation Interface for Virtual Tour*. In Proceedings of the 1st International Workshop on Virtual, Augmented, and Mixed Reality for HRI (VAM-HRI), 2018
- [19] Puranama, B. E.: *Interactive application development policy object 3D virtual tour history Pacitan District based multimedia*. In International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 4, No. 3 (S. 15-19). 2013.
- [20] Wessels, S.; Ruther, H.; Bhurtha, R.; Schroeder, R.: *Design and creation of a 3D virtual tour of the world heritage site of Petra, Jordan*. In Proceedings of AfricaGeo. 2014

Kontaktadresse:

fiete.rauscher@dlr.de