

MTU
Maintenance
Hannover

Praktikumsbericht

Kevin Salataj

1.05.2023 – 23.07.2023

Inhaltsverzeichnis

Inhalt

Einführung.....	3
Erste Tage im Unternehmen	5
3D Mobile Optische Scanner	13
Messsystemanalyse.....	19
Weitere Tätigkeiten im Praktikum.....	22
Zusammenfassung	24

Einführung

In diesem Bericht werde ich über meine 12-wöchige Praktikumserfahrung bei MTU Maintenance Hannover berichten. MTU Aero Engines ist ein renommiertes Unternehmen mit Hauptsitz in München, das sich auf die Entwicklung, Herstellung und Wartung von Militär- und Zivildieselmotoren spezialisiert hat. Gegründet wurde das Unternehmen vor 88 Jahren am 22. Dezember 1934 und war anfangs als BMW Flugmotorenbau bekannt. MTU hat weltweit mehrere Standorte eingerichtet, um den globalen Markt zu bedienen. Einige prominente Standorte sind: Rocky Hill, Connecticut; Vancouver, British Columbia; Rzesow, Polen; Zhu Hao, China; Dallas, Texas; Belgrad, Serbien. Der Standort in Hannover ist für die Erbringung von Dienstleistungen für eine Vielzahl von Flugzeugtriebwerken verantwortlich, die im weiteren Verlauf dieses Berichts näher erläutert werden. Die angebotenen Dienstleistungen umfassen Wartung, Reparatur und Überholung (MRO) von Triebwerken. Triebwerke sind die wichtigsten und teuersten Komponenten eines Flugzeugs. Regelmäßige Inspektionen und Wartungen sind unerlässlich, um deren optimale Leistung sicherzustellen. Die Triebwerke sind anfällig für Verschleiß, verursacht durch Faktoren wie Vibration, Reibung, hohe Temperaturen und Korrosion. Darüber hinaus können Triebwerke auch durch Fremdkörper oder Vogelschläge beschädigt werden. Regelmäßige Wartungsverfahren schützen nicht nur das Leben der Passagiere, sondern sind auch entscheidend für den Ertrag der Fluggesellschaften. Unerwartete Probleme an einem Triebwerk können beträchtliche Kosten für das Flugunternehmen verursachen. Die Dauer der Dienstleistungen kann je nach Art des Schadens von wenigen Tagen bis zu mehreren Monaten variieren. Daher ist regelmäßige Wartung zu festgelegten Intervallen von größter Bedeutung. Der zeitaufwändigste Prozess ist die Überholung, bei der das Triebwerk vollständig zerlegt und alle Teile überholt werden. Das Intervall zwischen den Überholungen wird in der Regel vom Flugzeughersteller festgelegt und in Betriebsstunden gemessen. MTU konzentriert sich auch auf Innovation und Forschung, um die Effektivität und Präzision von Inspektions- und Reparaturprozessen zu verbessern. Einige laufende Projekte in unserer Abteilung umfassen die Einführung neuer optischer Scanner und die Implementierung künstlicher neuronaler Netze zur genauen automatischen Teileunterscheidung. Während meiner Praktikumswochen bei MTU habe ich Einblicke in die grundlegenden Abläufe bei der Wartung und Reparatur von Flugzeugtriebwerken erhalten. Ich habe das interne Aufbau und die Organisation des Unternehmens kennengelernt sowie

die verschiedenen Arbeitsabläufe bei der Triebwerksinspektion verfolgt. Die Zusammenarbeit mit meinen Kollegen war eine wunderbare Erfahrung, und ich hatte die Möglichkeit, von ihrer Teamarbeit zu lernen. Dieses Praktikum hat mir ein wertvolles Verständnis für die Luftfahrtindustrie und ihre komplexe Natur vermittelt, in der hohe Standards die Norm sind. Die direkte Zeugen des Detailreichtums und der Problemlösungskompetenz in dieser Branche hat mich wirklich inspiriert. Das Wissen und die Erfahrungen, die ich in diesen Wochen gesammelt habe, werden mich in meiner zukünftigen Karriere unterstützen.

Dieser Bericht ist in Kapitel unterteilt, die nicht unbedingt den einzelnen Praktikumswochen entsprechen. Stattdessen ist er nach unterschiedlichen Aktivitäten, an denen ich während meines Praktikums beteiligt war oder von denen ich Kenntnis hatte, strukturiert.

Erste Tage im Unternehmen

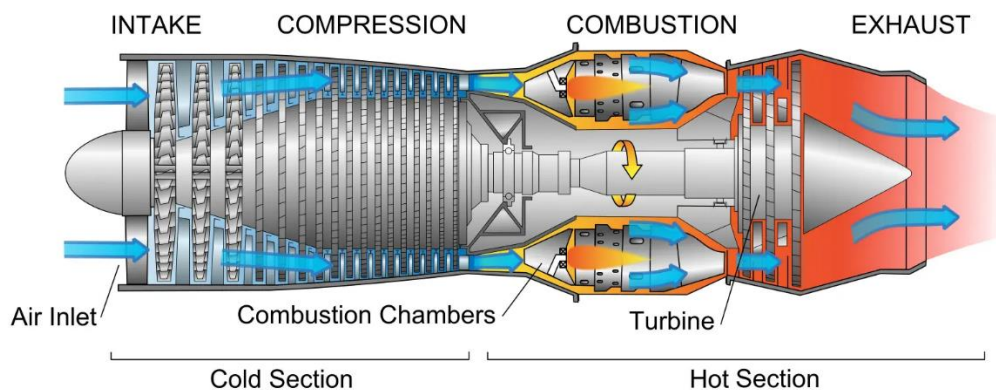
Für die erste Woche war eine obligatorische Schulung geplant. Am ersten Tag wurden wir am Haupteingang der MTU begrüßt und gingen in den Präsentationsraum, wo uns wichtige Informationen über das Unternehmen vermittelt wurden. Zunächst wurden uns verschiedene Aspekte des Unternehmens in Präsentationen vorgestellt, wie Lean Management, Werksausweise, Sicherheitshinweise und Einstellungsformalitäten. Anschließend besuchten wir die IT-Abteilung, um die notwendige Hardware und Ausweiskarten zu erhalten. Die Schulung dauerte drei Tage. Während der Präsentation zur Corporate Identity erhielten wir Informationen über die MTU als Unternehmen sowie allgemeine Richtlinien zum Arbeitsplatz. Eine wichtige Richtlinie betrifft den Schutz vertraulicher Informationen im digitalen Arbeitsbereich und die Privatsphäre. Die Übertragung sensibler Daten außerhalb des Firmennetzwerks ist strengstens untersagt. Als Beispiel müssen alle USB-Sticks vor dem Einsetzen in die Maschinen an den Clearing-Stationen überprüft werden. Darüber hinaus lernten wir die relevanten Gesetze und Regulierungsbehörden kennen, die für die Luftfahrt in Deutschland gelten und/oder regulieren. Die Europäische Agentur für Flugsicherheit (EASA) ist die zuständige Behörde für die Luftfahrtsicherheit in Deutschland. Nach der Schulung wurden ich und der andere Praktikant Michail von unseren Vorgesetzten Benjamin und Ali-Reza begrüßt. Nach dem Treffen mit ihnen gingen wir ins Büro unserer Abteilung namens MHIB, das später zu MOEB wechseln würde. Diese Abteilung ist für den technischen Aspekt der Wartung zuständig. Das Büro befindet sich in der Mitte der Hauptwerkstatt in einem zylinderförmigen Gebäude. Das würde für die nächsten 3 Monate unser Büro für das Praktikum sein. Das MOEB-Team bestand aus Bjoern Bartels (Projektmanager), Simon Bittner (Senior Manager Inspection Engineering and Teamleiter), Christine Borchert (Ingenieurin Schadenanalyse), Jens Deya (Senior Befunder), Gottlieb Dietz (Systemingenieur), Frank Golembek (Line Inspector), Carsten Harder (Senior Inspector LPC & HPC Airfoils), Lucas Hutchinsons (Ingenieur Schadenanalyse), Bastina Kropp (Projektmanagerin), Juergen Radloff (Line Inspector), Lai-Reza Rahnama (Systemingenieur), Juergen Ripke (Ingenieur Schadenanalyse), Daniela Gabriela Schadel (Senior Inspector HPT/LPT Airfoil), Kathrin Voges-Schwieger

(Projektmanagerin), Heiko Wagner (Projektmanager), Benjamin Walter (Senior Inspector Turbine Airfoils), Hermann Weber (Moderator). Das gesamte Team trifft sich jede Woche persönlich oder online, um die Ereignisse der vergangenen Woche zu besprechen. Nach dem Treffen mit dem Team wurden wir durch die gesamte Einrichtung der MTU Hannover geführt. Zunächst besuchten wir das Bürogebäude, in dem sich verschiedene andere Abteilungen befanden. Anschließend besichtigten wir den Prototyp des künstlichen neuronalen Netzwerks namens ABE. Dies ist das Projekt, an dem Michail während seines Praktikums arbeiten würde. Dieser Prototyp wurde in Zusammenarbeit mit der MTU Berlin entwickelt und würde als automatischer Klassifizierer für Kleinteile dienen. Die Idee hinter diesem Projekt ist es, die Arbeitsbelastung der Mitarbeiter zu reduzieren, die bisher jedes Teil manuell klassifizieren mussten, während sie den Teilekatalog betrachten. Dies erfordert viel Zeit und Anstrengung von den Arbeitern, und dieser Prototyp bietet eine neue Lösung für dieses Problem. In dieser Phase des Projekts liegt die Genauigkeit des Prototyps bei 80%, daher war das Ziel nun, die Genauigkeit zu erhöhen. ABE bestand aus einigen Kameras und Lasern, die ein Bild des Teils aufnehmen und es zunächst durch Beschneiden und Skalieren vorverarbeiten würden. Dann würde das Bild einem vortrainierten neuronalen Netzwerk zugeführt und dem richtigen Teil zugeordnet werden. Wie oft der Fall ist, treten dabei einige Probleme auf, wie die geringe Genauigkeit aufgrund der niedrigen Bildqualität oder die Ähnlichkeit der Form vieler Teile, die oft nur im Millimeterbereich voneinander abweichen. Um diese Probleme zu beseitigen, würden Michail und das Team in Berlin ihre Bemühungen koordinieren. Nach dem Halt bei ABE fuhren wir mit dem Hauptwerkstatt fort. Die Werkstatt ist in viele Bereiche unterteilt, in denen verschiedene Arbeiten durchgeführt werden. Üblicherweise ist der erste Schritt bei der Motorenreparatur die Demontage des Motors selbst. Dies wird sorgfältig von spezialisierten Mechanikern durchgeführt. Jedes demontierte Teil muss digital erfasst werden, damit jeder Schritt des Prozesses dokumentiert ist. Dieser Schritt dauert ebenfalls viel Zeit, da der Motor manchmal aus 60.000 verschiedenen Teilen besteht. Einige Projekte, die künstliche Intelligenzprototypen verwenden, werden in Zukunft angewendet, um den Prozess schneller und einfacher zu gestalten. Nach der Demontage wird der Motor in die Reinigungsabteilung gebracht, wo er für den Inspektionsprozess vorbereitet wird. Einige zerstörungsfreie Prüfmethoden (NDT) umfassen die visuelle Inspektion, die Ultraschallprüfung, die Wirbelstromprüfung sowie die magnetische und elektromagnetische Prüfung. Die visuelle Inspektion ist in der Regel der erste Schritt und wird von erfahrenen

Inspektoren durchgeführt. Eine andere Möglichkeit, diese Art der Inspektion durchzuführen, besteht darin, optische Scanner zu verwenden. Dies ist tatsächlich das Projekt, an dem ich teilnehmen würde, bei dem ich einen optischen Sensor verwenden würde, um die Defekte am Motor direkt auf dem Werkstattboden zu scannen. Dies bietet einen enormen Zeitvorteil, da die anderen Methoden viel Zeit erfordern. Ali zeigte uns dann die Orte, an denen verschiedene Inspektionsmethoden durchgeführt wurden. Eine dieser Methoden war die Koordinatenmessmaschine (CMM). Dieses Gerät misst die Geometrie des Objekts, indem es Punkte auf seiner Oberfläche erfasst. Mit einer Genauigkeit von 10^{-6} mm wurde dieses Gerät für sehr spezifische Anwendungen eingesetzt, bei denen eine hohe Genauigkeit erforderlich war. Beim Betreten des Raums, in dem sich diese Maschine befand, sank die Lufttemperatur auf rund 18°C. Bevor die Teile gemessen werden konnten, mussten sie bis zu 5 Stunden in diesem temperaturgeregelten Raum sitzen, um Raumtemperatur zu erreichen. Nur dann kann eine genaue Messung durch das Gerät gewährleistet werden. Der Messvorgang dieser Maschine variiert je nach dem gemessenen Teil. Es würde die CMM mehr als 2 Tage dauern, um eine gesamte Turbinenscheibe zu scannen. Hier kommen die Nachteile dieser Methode zum Tragen. Mit einem weniger genauen mobilen optischen Scanner könnte man direkt zur Demontageabteilung gehen und die vom Inspektor entdeckten Schäden scannen. Der gesamte Prozess könnte je nach Art des Schadens bis zu einer Stunde dauern. Nach der Messung mit dem optischen Scanner könnte die Auswertung des gescannten Bildes vor Ort erfolgen. Die Abmessungen des Schadens könnten den Inspektoren mitgeteilt werden, die basierend auf den Notizen im Motorenhandbuch entscheiden könnten, ob das Teil verschrottet, repariert oder weiterverwendet werden soll. Die Idee hinter dem Projekt des 3D-Mobilscanners war, dass ein Team von zwei Personen bereit sein könnte, vor Ort zu scannen, was viele Kosten und Zeit sparen würde. Doch bevor dieses Projekt umgesetzt werden konnte, müsste eine Messsystemanalyse (MSA) durchgeführt werden, um zu zeigen, dass das Gerät eine ausreichend hohe Genauigkeit aufweist. Diese Analyse würde durchgeführt werden, indem dasselbe Teil bis zu 20 Mal gescannt wird. Jedes Scannen wäre unabhängig voneinander. MSA ist ein statistisches Werkzeug, das zur Bewertung der Datenqualität verwendet werden kann. Wenn das System nach der MSA eine Genauigkeit von mehr als 0,003 mm aufweisen würde, könnte es im Feld implementiert werden. Natürlich treten während der Durchführung der MSA einige Herausforderungen auf, die im folgenden Kapitel erläutert werden. Nach der Exkursion zu

den Inspektionsmethoden wurden wir später zum GOM Box Scanner geführt. Dies ist im Grunde der gleiche optische Scanner wie der im Projekt des 3D-Mobilscanners, wurde jedoch von einem Roboterarm betrieben und befand sich in einer Box. Daher hatte dieses System einige Vorteile, wie eine schnellere Scanzeit, da es durch den Roboterarm und einen automatischen Drehtisch unterstützt wurde. In der folgenden Woche würden mein Kollege Michael Bachstein, der für den Betrieb der GOM Box verantwortlich war, und ich damit beginnen, einige Teile zu scannen, um uns auf die MSA der beiden Systeme vorzubereiten. Der letzte Stopp der Tour war an der HPT (Hochdruckturbine) und LPC (Niederdruckverdichter) Demontagelinie. Dies war der Dock, an dem die Turbinen und Verdichter auseinandergenommen wurden. Ali erklärte dann die grundlegende Funktionsweise eines Flugzeugturboantriebs. Die vier Haupttypen von Turbinenflugzeugmotoren sind der Turboprop-Motor, der Turbojet-Motor, der Turboschaft-Motor und der Turbofan-Motor. Die Funktionsweise aller dieser Motortypen ist sehr ähnlich. Die Luft muss zum Motor strömen, sie wird im Verdichter auf hohe Geschwindigkeiten komprimiert, mit Kraftstoff gemischt und in der Brennkammer entzündet. Die entzündete Flüssigkeit strömt durch die Turbine und strömt schließlich aus dem Auspuffsystem und erzeugt den notwendigen Schub, um das Flugzeug in die Luft zu heben. Die Turbine erzeugt auch die Rotationskraft des Verdichters. Obwohl es einige Unterschiede zwischen den Motoren gibt. Die Turbine im Turboprop-Motor treibt den Propeller an der Vorderseite des Motors durch ein Getriebesystem an. Die Antriebseffizienz von Turboprop-Flugzeugmotoren übertrifft andere Motoren bei mittleren Fluggeschwindigkeiten. Sie sind kostengünstig und können auf kurzen Strecken landen und starten. Ihre Nachteile sind die geringe Vorwärtsgeschwindigkeit, der geringe Komfort aufgrund des Lärms der Propeller und die hohen Wartungsintervalle aufgrund des schnell ausfallenden Getriebekastens. Das Konzept des Turbojet-Motors ist ähnlich. Die erste Komponente ist der Lufteinlass. Seine Aufgabe besteht darin, Luft in die Schaufeln des Verdichters zu leiten, und es kann dazu beitragen, den Luftverlust in den Motor bei niedrigen Geschwindigkeiten zu minimieren. Der Lufteinlass kann den Luftstrom verlangsamen, wenn das Flugzeug mit hoher Geschwindigkeit fliegt. Egal wie schnell ein Flugzeug fliegt, die in den Motor strömende Luft sollte niedriger sein als die Schallgeschwindigkeit. Die Luft strömt durch den Motor und dann durch den Verdichter. Der Verdichter besteht aus einer Reihe von Diskstufen, von denen jede kleine Schaufeln enthält, die die Luft auf hohen Druck komprimieren. Nach dem Verdichter kommt die Brennkammer.

Die Hochdruckluft und der Kraftstoff werden hier gemischt und entzündet. In der Regel beträgt das Luft-Kraftstoff-Verhältnis für diese Motoren 50 Teile Luft zu einem Teil Kraftstoff. Um eine kühle Temperatur zu halten, haben Turbojet-Motoren eine schlanke Struktur, was bedeutet, dass sie länger sind und einen kleineren Durchmesser haben. Nach der Zündung durchläuft die Druckflüssigkeit die HPT und LPT, die wiederum den Verdichter antreiben. Die Luftmischung und der verbrannte Kraftstoff strömen durch eine Auspuffdüse aus dem Motor. Der Motor erzeugt Schub, da die komprimierte Luft an der Vorderseite des Verdichters herausgedrückt wird, der dann das Flugzeug vorwärts schiebt. Einige Turbojet-Motortypen, die im Bereich der Kompetenz von MTU liegen, sind der F110, F414, F404 von General Electric und werden in Flugzeugen wie der Lockheed Martin F-16, der Boeing F-15 und der Boeing F-4 Phantom verwendet.



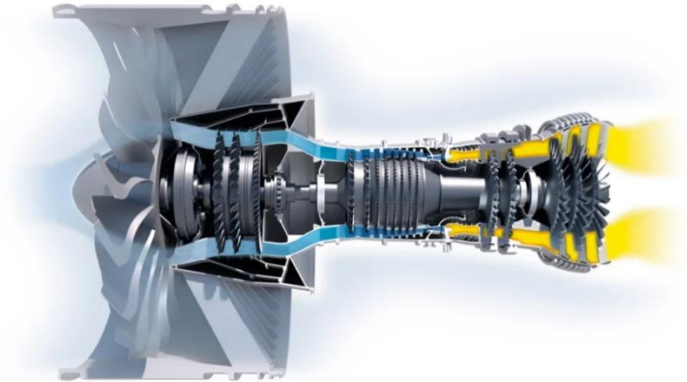
Figur 1: Turbojet Engine

Die Turboschaft-Triebwerke arbeiten ähnlich wie die Turboprop-Triebwerke, aber anstatt einen Propeller anzutreiben, werden sie in Hubschraubern eingesetzt, um den Rotor anzutreiben. Turboschaft-Triebwerke sind so konzipiert, dass die Geschwindigkeit des Hubschrauberrotors unabhängig von der Geschwindigkeit des Gasgenerators rotieren kann. Dadurch bleibt die Drehzahl des Hubschauerrotors konstant, selbst wenn die Geschwindigkeit des Gasgenerators abnimmt. Dies steuert auch die Leistung, die ein Hubschrauber erzeugt. Der einzige Unterschied zwischen Turbojets und Turboschaften besteht darin, dass letztere einen Großteil ihrer Leistung dafür verwenden, eine Turbine anzutreiben, anstatt Schub zu erzeugen. Das Turboschaft-Triebwerk ähnelt einem Turbojet-Triebwerk, verfügt jedoch über eine große Welle, die die Vorderseite mit der Rückseite verbindet. Da die meisten Turboschaft-Triebwerke in Hubschraubern verwendet werden, ist

die Welle mit der Getriebe der Rotorblätter verbunden. Einige Turboschaft-Triebwerke, die bei MTU gewartet werden, sind das GE38, T64 und MTR390, die in Sikorsky CH-53K und 53G sowie in Eurocopter Tiger-Hubschraubern verwendet werden.

Turbofan-Triebwerke sind mit einem massiven Lüfter an der Vorderseite ausgestattet, der Luft ansaugt. Bei Turbofan-Triebwerken strömt der Großteil der Luft um das Äußere eines Flugzeugtriebwerks, um dem Flugzeug auch bei niedrigen Geschwindigkeiten mehr Schub zu verleihen und es leiser zu machen. Turbofan-Triebwerke treiben die meisten heutigen Verkehrsflugzeuge an. Die gesamte Luft, die in den Einlass eines Turbofan-Triebwerks gelangt, durchströmt den Generator, der die heiße Luft erzeugt. Dieser Generator besteht aus einer Turbine, einer Brennkammer und einem Verdichter. Nur ein kleiner Prozentsatz der Luft, die durch das Turbofan-Triebwerk strömt, gelangt bis zur Brennkammer. Der Rest der Luft passiert einen Niederdruckverdichter oder Lüfter, nachdem er mit dem erzeugten Gas gemischt oder direkt ausgestoßen wurde. Ziel dieses Systems ist es, einen höheren Schub bei gleichbleibendem Verbrauch zu erreichen. Das Turbofan-Triebwerk reduziert die Geschwindigkeit bei gleichbleibender Leistung und erhöht den Luftmassenstrom, um dies zu erreichen. Das Turbofan-Flugzeugtriebwerk ist eine verbesserte Version von Turboprop- und Turbojet-Triebwerken. Es funktioniert wie ein Turbojet-Triebwerk, verfügt jedoch über einen Mantelpropeller an der Vorderseite. Der Propeller kühlt das Triebwerk, erzeugt zusätzlichen Schub und verringert das Geräusch des Flugzeugtriebwerks. Die Einlassluft von Turbofan-Triebwerken wird in zwei Ströme aufgeteilt. Ein Strom strömt durch den Kern des Triebwerks, während die andere Bypass-Luft um das Triebwerk herumströmt. Die vorbeiströmende Luft fließt durch das Triebwerk, wo ein Mantelpropeller sie beschleunigt, um zusätzlichen Schub zu erzeugen. Der Mantelpropeller sorgt dafür, dass die Luft durch das Triebwerk gedrückt wird, wodurch der Schub weiter erhöht wird. Turbofan-Flugzeugtriebwerke sind leiser als Turbojets und sparsam im Verbrauch. Diese Triebwerke sind jedoch in großen Höhen ineffizient, und ihre Frontfläche ist größer als bei Turbojets, was sie etwas schwerer macht. Turbofan-Flugzeugtriebwerke sind am hinteren Ende des Triebwerks mit einem Mantel versehen. Eine unabhängige Turbine, die normalerweise an der Vorderseite des Verdichters angebracht ist, treibt die Turbine mit derselben Geschwindigkeit an wie den Verdichter. Die Luft aus dem Lüfter mischt sich nicht mit der Luft im Triebwerk, kann aber zurückgeführt werden, um sich vorne mit der Luft zu vermischen. Die Auspuffgase erzeugen weniger als 25% des Gesamtschubs, während 75% von den angeschlossenen Lüftern kommen. Einige

Turbofan-Triebwerke, die regelmäßig bei MTU Hannover gewartet werden, sind das PW1000G, V2500 und das neue GE90m, die in Airbus A320neo, Airbus A319/320 und Boeing 787 Dreamliner eingesetzt werden.



Figur 2: Turbofan Engine

Ali begann dann zu erklären, wie Schäden am Triebwerk verursacht werden. Die häufigsten Schäden am Triebwerk treten an den Schaufeln auf, da diese mit hochkomprimierter heißer Luft in Berührung kommen. Im Laufe der Zeit werden die Dellen an den Schaufeln sichtbar. Wenn die Abmessungen der Dellen größer sind als in der Anleitung angegeben, müssen sie ersetzt werden. Die Schaufeln an der Vorderseite des Verdichters, wo die Luft noch kühl ist, bestehen normalerweise aus leichteren Metallen, um ein geringes Gewicht zu erhalten. Die Schaufeln an der Turbine müssen aus einem starken und schweren Material wie Stahl bestehen, um die extremen Temperaturen und den Druck standzuhalten. Der schlimmste Schaden, der auftreten kann, ist das Abbrechen eines festen Metallstücks von den Schaufeln. Die Reibung dieses Teils im Inneren des Triebwerks, wo sich viel Kraftstoff befindet, würde eine Explosion und Zerstörung des Triebwerks verursachen. Dann verlässt sich das Flugzeug nur noch auf das andere Triebwerk. Auf dem Werkstattboden sahen wir einige Beispiele solcher Schäden an den Schaufeln. Andere Schäden treten an Teilen auf, zwischen denen Reibung auftritt, wie beispielsweise bei den Turbinenscheiben. Später würde ich einige dieser beschädigten Teile mit dem 3D-Scanner scannen. Während der Führung durch die Werkstatt sah ich auch einige andere Prozesse, die hier stattfanden, wie Schweißen, Beschichten, Laserschneiden und einige der zuvor genannten Inspektionsmethoden.

The full range of Engine Competence of MTU is listed as follows.:

- PW4000 Growth – Boeing 777
- GP7000 – Airbus A380
- GENx – Boeing 787 Dreamliner, Boeing 747 – 8
- CF6- Airbus A300, Airbus A310, Airbus A380, Boeing 747, Boeing 767, Boeing MD-11, Boeing DC-10-10/-15/-30
- PW2000 – Boeing 757
- PW 1000G – Airbus A320neo, Bombardier CSeries, Mitsubishi Regional Jet (MRJ), Irkut MS-21
- V2500 – Airbus A319, Airbus A320, Airbus A321, Boeing MD-90, Embraer KC-390
- PW6000 Airbus A318
- JT8D-200 Boeing MD-80
- PW800- Large business jets
- PW300 – Dassault Falcon 7X, Bombardier Learjet 60/85, Fairchild Dornier 328Jet, Cessna Citation Sovereign, Gulfstream G200, Hawker Beechcraft 1000
- PW500- Cessna Citation Bravo, Cessna Citation XLS, Cessna Citation Exel and Exel+
- F117 – Boeing C-17
- F110 – Lockheed Martin F-16, Boeing F-15,
- F414 Boeing F/A-18 Super Hornet, Boeing EA-18G Growler
- EJ200 – Eurofighter/ Typhoon
- J79 – Boeing F-4 Phantom
- F404 – Boeing F/A-18 Hornet, Boeing A-45, KAI T-50, JAS Gripen, Lockheed Martin F-117A, India LCA, Rockwell/MBB X-31 EFM
- RB199 Panavia Tornado
- Larzac 04- Dornier-Dassault Alpha Jet
- TP400-D6- Airbus A400 M
- GE38 – Sikorsky CH-53K
- Tyne – Breguet Atlantic, Transall C-160
- T64 – Sikorsky CH-53G, GS/GA
- MTR390 – Eurocopter Tiger
- RR250-C20 – Eurocopter Bo105, PAH-1, Hughes 500, Bell 206

3D Mobile Optische Scanner

Zu Beginn der dritten Praktikumswoche wurde mir von meinem Betreuer mitgeteilt, dass ich für ein dreitägiges Training nach Braunschweig gehen würde. Das Training handelte von dem optischen Scanner Atos, der direkt auf dem Werkstattboden eingesetzt werden sollte, um Defekte an Flugzeugtriebwerksteilen zu scannen. Atos-Scanner werden von der Firma GOM entwickelt, die kürzlich zur Firma Zeiss gehört. Die Scanner-Familie besteht aus Atos Q, Atos 5/X/Airfoil, Atos LRX und Atos Compact Scan. Der von uns verwendete Scanner ist der Atos 5. Die wichtigste Komponente des Scanners sind seine beiden Kameras. Wie bei jeder Kamera erkennt sie die Helligkeit der Pixel als Graustufen von 0 bis 255. Die niedrigere Zahl bedeutet ein dunkles Pixel, während eine hohe Zahl hell bedeutet. Zusätzlich gibt es in der Mitte einen Projektor, der blaues Licht in Form von Streifen projiziert. Um die Entfernung eines gemessenen Objekts zu bestimmen, nutzen die Kameras die Triangulationstechnik. Ein 3D-Triangulationssystem besteht aus vier Hauptkomponenten: der Kamera, dem Linienprojektor, der in der Regel laserbasiert ist, einer Mechanik, die das Objekt oder das Kamera-/Laser-System durch das Sichtfeld des Bildgebungssystems bewegt, und einer Software, die das aufgenommene Bild verarbeitet und Pixelverschiebungen genau in Höhenunterschiede übersetzt. Die zahlreichen verschiedenen Streifenmuster in vertikaler und horizontaler Richtung, die vom Projektor projiziert werden, bestehen aus vielen diskreten Pixeln. Das bedeutet, dass die Projektion sehr präzise ist und eine Fülle von Informationen liefert. In der früheren Version des Scanners wurde ein analoger Projektor verwendet. Dies hatte viele Nachteile, wie zum Beispiel: nur Streifen in vertikaler Richtung, keine diskreten Pixel und geringere Präzision, der Projektor konnte nicht kalibriert werden, ein begrenzter Informationsumfang. Mit nur den Informationen von beiden Kameras werden sehr stabile Messergebnisse erzielt. Das Problem besteht darin, dass einige Bereiche nur für eine Kamera sichtbar sind, was für die 3D-Datenerfassung ungeeignet ist. Dies wird durch das Prinzip des dreifachen Scans gelöst, das den Projektor integriert, um den Messumfang zu vergrößern. Der Projektor dient somit als rückwärtige Kamera, der Streifen aus blauem Licht projiziert. Wenn jeder projizierte Pixel im Voraus bekannt ist, kann das von den Kameras erfasste blaue Licht verwendet werden, um neue Informationen über die Oberfläche des Objekts zu gewinnen. Dieses Prinzip ist nur bei digitalen Projektoren effektiv, da die analogen Projektoren nicht genügend Informationen liefern. Der Scanner hatte auch verschiedene

Messvolumina. Dies ist das Volumen, das gemessen werden konnte, und es variierte je nach den installierten Kameras. Das Messvolumen bei ATOS-Systemen kann so geändert werden, dass die Sensorauf Auflösung auf einen kleineren oder breiteren Bereich reduziert wird, wodurch eine Wahl zwischen hoher Detailauflösung und großen Scanbereichen möglich ist. Die kleineren Volumina konnten eine höhere Pixeldichte erzeugen und waren präziser. Nach der Installation der neuen Kameras mit dem neuen Messvolumen mussten diese eingestellt und kalibriert werden. Die Kalibrierung wurde mit Hilfe der Software GOM Inspect Pro durchgeführt. Um den Sensor einzurichten, müssen einige Schritte befolgt werden. Zuerst wird der Fokus der linken und rechten Kameras eingestellt. Dann wird der Projektor ebenfalls eingestellt, indem die Blende in eine optimale Position geändert wird. Schließlich wird der Sensor durch Scannen eines Kalibrierungstisches aus verschiedenen Winkeln kalibriert. Nach erfolgreicher Kalibrierung kann der Sensor mit dem Scannen beginnen.



Figur 3: Optische 3D-Scanner Atos 5

Die ideale Oberfläche des Objekts muss hell und nicht reflektierend sein. Wenn die Oberfläche dunkel, reflektierend, rot oder transparent ist, ist die Scanqualität sehr gering, da von den Kameras nicht genügend Informationen erfasst werden können. In solchen Fällen kann die Oberfläche mit einem nicht reflektierenden Material besprüht werden. Der Scanner kann ein Objekt aus verschiedenen Winkeln scannen, und die Software kann alle Messungen in ein gemeinsames Koordinatensystem transformieren, um ein dreidimensionales CAD-Bild zu erstellen. Damit die Software weiß, wie die verschiedenen Bilder transformiert werden

sollen, müssen mindestens drei zuvor bekannte Punkte im Bereich der Kameras sein. Dies wird durch das Anbringen von Referenzpunkten auf der Oberfläche des Objekts erreicht. Die Referenzpunkte sind weiße Kreise mit einem schwarzen Rand und haben eine variable Größe, abhängig vom verwendeten Messvolumen. Die Referenzpunkte haben einen hohen Kontrast und werden automatisch von der Software erkannt. Wenn der Sensor drei Referenzpunkte erkennt, kann das Objekt in das gemeinsame Koordinatensystem transformiert werden. Manchmal kann es bei sehr komplexen Objekten etwas schwierig sein, drei bereits gescannte Referenzpunkte zu finden, daher muss die Platzierung der Punkte im Voraus geplant werden. Andernfalls können in einigen Bereichen des Objekts keine Referenzpunkte erkannt werden, was die Integration dieses Teils in das Gesamtbild unmöglich macht. Die Referenzpunkte können auf der Oberfläche des Objekts oder im Hintergrund angebracht werden. Es ist jedoch wichtig, dass sich die Referenzpunkte in Bezug auf das Objekt nicht bewegen, da dies zu großen Abweichungen in der Transformation führen würde. Eine geniale Idee, die sich in der Praxis als sehr effektiv erwiesen hat, besteht darin, einen tragbaren Schlauch einzuführen, an dem die Referenzpunkte im Voraus angebracht werden können. Auf diese Weise ist es nicht erforderlich, die Punkte um die Oberfläche eines großen Objekts herum zu platzieren und somit viel Zeit zu sparen. Dies ist nur anwendbar, wenn der Schlauch in Bezug auf das Objekt stationär ist, da selbst eine geringfügige Verschiebung bedeutet, dass die Transformation nicht korrekt erfolgt und große Fehler enthält. Wenn es keine Möglichkeit gibt, Referenzpunkte in bestimmten Bereichen des Objekts zu platzieren, gibt es auch eine andere Methode, um die Transformation dennoch durchzuführen. Die Software verwendet den sogenannten Best-Fit-Algorithmus. Diese Technik verwendet die bereits gescannten Bereiche des Objekts und richtet die neuen Messungen daran aus, um eine optimale Übereinstimmung zwischen den beiden zu erzielen. Die Bedingung für diese Technik ist, sie nicht in aufeinanderfolgenden Messungen zu verwenden und einen angemessenen Abstand zwischen ihnen zu haben. Diese Technik funktioniert auch dann, wenn die Geometrie des gemessenen Bereichs charakteristische Merkmale aufweist. Für symmetrische Objekte oder Bereiche, die sehr ähnlich sind, führt die Best-Fit-Technik immer noch zu einer geringen Qualität der Transformation. Nach jeder Messung, sei es mit Referenzpunkten oder Best-Fit, zeigt die Software die Qualität an. Es ist notwendig, dass jede aufgenommene Aufnahme eine sehr hohe Qualität hat, um eine präzise Scan zu erhalten. Eine gute Positionierung zwischen dem Scanner und dem Objekt ist

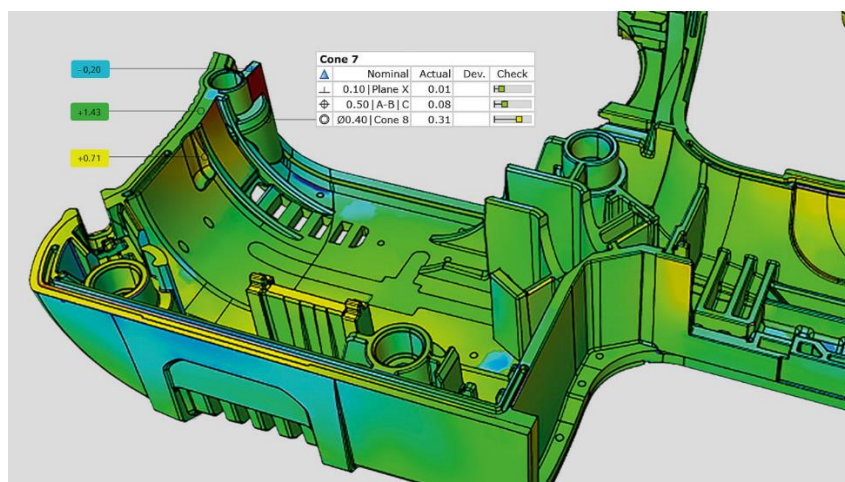
wichtig für einen effektiven und effizienten Scan, da die Oberfläche und die Referenzpunkte außerhalb des Messvolumens nicht gescannt werden. Um den optimalen Abstand zwischen ihnen zu finden, verfügt der Scanner über zwei Laser. Wenn sich die Laserpunkte auf der Oberfläche des Objekts treffen, bedeutet dies, dass der Abstand optimal ist. Wenn die Punkte sich nicht treffen, wird der Abstand erhöht oder verringert, um einen optimalen Fokus der Kameras zu erreichen. Der optimale Abstand kann auch im Softwarefenster mithilfe einer Markierungsleiste angezeigt werden. Nach der Positionierung des Scanners und der Platzierung der Referenzpunkte ist es an der Zeit, den Scan zu starten. Dazu müssen wir ein neues Projekt in der Software erstellen. Als nächstes muss eine Scanning-Vorlage ausgewählt werden. Es gibt einige Vorlagen, die bereits für bestimmte Situationen erstellt wurden, aber der Benutzer kann auch eine neue Vorlage personalisieren, die den Anforderungen entspricht. Hier muss auch die Temperatur des gemessenen Objekts angegeben werden, da dies auch bei der Transformation berücksichtigt wird. Nachdem die Vorlage ausgewählt wurde, können wir jetzt mit einer neuen Messung beginnen. Das Bild der linken oder rechten Kamera kann in einem Fenster angezeigt werden. Dies gibt einen guten Hinweis darauf, welcher Teil des Objekts gerade gescannt wird. Bevor das Bild aufgenommen wird, muss manchmal die Belichtungszeit der Kameras angepasst werden. Die Auswirkungen von unterbelichteten oder überbelichteten Bildern erschweren oder verhindern, dass der Sensor Informationen aus der Streifenprojektion sammelt. Da die Oberfläche der Referenzpunkte heller ist als der Rest der Oberfläche, muss auch ihre Belichtungszeit getrennt sein. Zuerst muss die Belichtungszeit für die Referenzpunkte ausgewählt werden, damit sie von der Software erkannt werden. Die Belichtungszeit für die Oberfläche ist etwas komplizierter. Es kann bis zu drei verschiedene Belichtungszeiten für eine einzelne Messung geben, wenn das Objekt aus verschiedenen Farben besteht. Kurze Belichtungszeiten werden für helle Bereiche verwendet, während lange Belichtungszeiten für dunkle Bereiche verwendet werden. Am Ende werden alle Belichtungszeiten zu einer einzigen Messung zusammengefasst. In den meisten Fällen reicht jedoch eine einzelne Belichtungszeit aus. Die Software kann automatisch die beste Belichtungszeit für einen bestimmten Bereich berechnen. Normalerweise wird die Belichtungszeit vom Benutzer manuell festgelegt. Für eine optimale Zeit sollten die Bilder der Kameras keine schwarzen oder roten Bereiche haben, da dies entweder eine sehr dunkle oder reflektierende Oberfläche bedeutet. Als nächstes kann der Benutzer zwischen Messqualität oder mehr Punkten wählen. Diese Option

bestimmt die Akzeptanzschwelle für die erfassten Punkte. Zuerst werden alle Punkte von den Kameras gemessen. Dann können später einige Punkte, die bestimmte Kriterien nicht erfüllen, ignoriert werden. Wenn die Option hohe Qualität gewählt wird, werden alle Punkte, die als problematisch, instabil oder potenziell falsch betrachtet werden, ignoriert. Die andere Option liefert mehr Punkte, sodass das Bild voller ist, aber nicht so präzise. Zur Positionierung der Kamera verwenden einige Systeme einen Drehtisch und einen Roboterarm. So ist es beim GOM Box der Fall. Bei dem 3D-Mobilscanner muss die Positionierung jedoch manuell mit einem Stativ erfolgen. Der Vorteil der manuellen Positionierung des Scanners besteht darin, dass er mobiler und flexibler ist. Nachdem das Objekt gescannt wurde, ist das Modell bereit für die Polygonisierung. Vor diesem Schritt müssen alle unerwünschten Daten aus dem Modell entfernt werden. Einige Beispiele für unerwünschte Daten sind der Hintergrund oder Teile der Messung, die für den Scanvorgang hilfreich sind. Der Grund, warum die unerwünschten Daten entfernt werden müssen, besteht darin, dass sie zu unnötig großen Dateien führen können, die die Sicht auf bestimmte Bereiche versperren, die für die Inspektion zugänglich sein müssen, und die Feinjustierung und Genauigkeit nach der Polygonisierung beeinträchtigen können. Die Entfernung dieser unerwünschten Daten kann automatisch von der Software oder manuell vom Benutzer durchgeführt werden. Nach diesem Schritt kann die Polygonisierung stattfinden. Während der Polygonisierung werden die einzelnen Scans fein ausgerichtet, Messrauschen reduziert, Netzwerkfehler beseitigt, Referenzpunkte gefüllt und das Modell über viele Iterationen geglättet und verdünnt. Das Messrauschen kann nach der Polygonisierung zu einem schlechten Modell führen. Gute Qualität von 3D-Daten wird erreicht, wenn korrespondierende Punkte auf der Oberfläche des Objekts eindeutig von dem Sensor erkannt werden. Unzureichende Qualität der 3D-Daten ist im Allgemeinen auf zwei Gründe zurückzuführen. Der erste Grund ist der geringe Streifenkontrast, der durch unbehandelte, unkooperative Oberflächen (dunkel oder reflektierend) oder falsche Belichtung beeinflusst wird. Der zweite Grund ist das starke Bildrauschen, das durch interne Faktoren wie Quantisierung des Bildes von analog auf digital und thermisches Rauschen des Sensors oder externe Faktoren durch Reflexionen, Einflüsse von Umgebungslicht, Lichteigenschaften, Bildrauschen, Vibrationen und Temperatur verursacht wird. Damit endete das dreitägige Training in Braunschweig. Nach diesem Training würde ein weiteres Training zur Auswertung des Modells online stattfinden. In diesem Training würde ich lernen, wie man die gescannten

Daten ausgewertet. Die Auswertung des Modells erfolgt in einem speziellen Fenster innerhalb der GOM-Software. Für ein typisches Auswertungsprojekt wird das Netzwerk-Mesh des polygonisierten Modells mit einem CAD-Modell verglichen. Der erste Schritt besteht darin, eine Vorausrichtung durchzuführen, damit das eigentliche Mesh in die Position der CAD-Daten im 3D-Raum verschoben wird. Die Grundlage für einen Vergleich des Netzwerks mit den CAD-Daten wird geschaffen. Dies ist nur eine grobe Anfangsausrichtung und wird durch schnelle Berechnung von sehr wenigen Punkten durchgeführt. Um dies zu verfeinern, kann eine zusätzliche globale Best-Fit-Ausrichtung durchgeführt werden. In der Software sind verschiedene Inspektionstypen möglich, wie z. B. der Vergleich von Flächenabweichungen, Abweichungen in den Abmessungen, geometrische Toleranzen und die Erkennung von Oberflächendefekten. Die Software bietet zahlreiche Optionen zur Durchführung von Auswertungen. Diese Methoden wurden später für die MSA verwendet. Nach Abschluss des zweiten Trainings war ich bereit, die Objekte zu scannen und das Netzwerk zu bewerten. In der nächsten Woche begann ich, Michael Bachstein bei seinem GOM Box zu begleiten, um praktisch zu lernen, wie man den Scanner benutzt. Einige der gescannten Teile waren Blisks, Blätter, Scheiben und einige Rahmen. Einige Teile, wie zum Beispiel die Blätter, erwiesen sich aufgrund ihrer reflektierenden Oberfläche als problematisch zu scannen. Ich musste sie zuerst mit einem nichtreflektierenden Material in einem speziellen Raum besprühen. Während dieser Zeit sammelte ich viel Erfahrung im Scannen und Auswerten mit dem GOM-Scanner. In der folgenden Woche wurde der Scanner von GOM in die Werkstatt gebracht. Nachdem das Gerät eingerichtet war, begann ich, einige Ausschuss-Blätter zu scannen, um die Defekte zu untersuchen. Der nächste Schritt war die Durchführung der Messsystemanalyse (MSA), um die Messgenauigkeit zu bestimmen und Fehlerquellen zu identifizieren. Wenn das Gerät präzise genug war, würde es zur Verwendung in der Werkstatt zugelassen.

Messsystemanalyse

In der nächsten Woche bekamen wir Besuch von einem Kollegen aus München, Steven Piorun, der ein Metrologe mit Spezialisierung auf optische Sensoren war. Er hatte zuvor bei GOM gearbeitet und somit viel Erfahrung mit dem Gerät. Während seines Aufenthalts hat Steven die für die MSA benötigte Dokumentation vorbereitet. Er erklärte mir auch, wie der Prozess ablaufen würde. Ein Teil würde unabhängig voneinander zwanzigmal gescannt werden. Nach jedem Scan würden die Referenzpunkte und die Position des Scanners relativ zum Teil geändert, um keine Korrelation zwischen den verschiedenen Scans entstehen zu lassen. Nach dem Scan musste das Modell bewertet werden. Der erste Teil, der für die MSA gescannt werden sollte, war eine Kompressorscheibe. Die Teile wurden von meinem Vorgesetzten Benjamin Walter gefunden. Die Scheibe hatte eine innere Oberfläche in Form eines Zylinders. Diese Oberfläche stand ständig in Kontakt mit der Welle, wodurch sie häufig beschädigt wurde. Um die Auswertung in der GOM-Software durchzuführen, wurde zuerst die gesamte zu inspizierende Oberfläche ausgewählt. Anschließend wurde die gesamte ausgewählte Oberfläche mit einer Referenzoberfläche verglichen. Diese Oberfläche wurde von der Software erstellt, indem alle Punkte der ausgewählten Oberfläche genommen und ein Durchschnittszylinder unter Verwendung der Gauß-Wahrscheinlichkeit erstellt wurde. Dann wurde jeder Punkt mit dem Referenzzylinder verglichen und in einer Heatmap angezeigt. Die Karte zeigte Vertiefungen und Erhebungen auf der Oberfläche des Teils mit verschiedenen Farben, nämlich aus dem blauen und roten Spektrum.



Figur 4: Evaluation einer Messung in GOM Inspect Pro

Für diesen speziellen Fall sollten fünf verschiedene Inspektionen analysiert werden. Die Oberfläche des Zylinders wurde in vier 90°-Winkel unterteilt. Bei jedem 90°-Winkel wurde die Tiefe der Oberfläche analysiert. Damit bei jeder Messung dieselben Bereiche analysiert wurden, wurde der Startbereich vorab markiert. Zusätzlich würde der tiefste Punkt auf der gesamten Oberfläche des Zylinders inspiziert werden. Nachdem diese Messungen für zwanzig verschiedene Zeiten abgeschlossen waren, würde ich die Werte notieren, und die MSA könnte beginnen. Wie Steven erklärte, wird die MSA verwendet, um die Eignung eines Messsystems für den Einsatz zu bestimmen. Es ist entscheidend, ein gut funktionierendes Messsystem zu haben, damit die gesammelten Daten genau und präzise sind. Es gibt viele Faktoren zu berücksichtigen, wenn eine Messsystemanalyse durchgeführt wird. Das erste Ziel einer Messsystemanalyse besteht darin zu definieren, ob die richtige Messung für das Messsystem verwendet wird. Die Messsystemanalyse wird auch die Fähigkeit des Personals bewerten, die Messsystemanweisungen effektiv auszuführen, sowie Umweltfaktoren, die den Prozess beeinflussen könnten. Jede Variation im Betriebsprozess könnte zu verzerrten Ergebnissen führen und möglicherweise fehlerhafte Produkte verursachen. Das Ziel der MSA besteht darin, diese Variationen zu identifizieren und dies zu verhindern. Schließlich wird die Messsystemanalyse alle diese Variationen berechnen, um festzustellen, ob das aktuelle Messsystem einer Überarbeitung bedarf. Nachdem ich die Variationen verglichen hatte, würde ich mit dem Berechnungsprozess beginnen, um folgende Informationen zu ermitteln: Durchschnittliche Messwerte für jeden Operator, Standardabweichung für jeden Operator, Unterschiede zwischen dem Durchschnitt und der Standardabweichung jedes Operators. Dann würde ich die Verteilung der Daten betrachten. Wenn sich alle Zahlen nahe dem gewünschten Mittelwert stapeln, bedeutet das, dass der Operator, der Messprozess und die Messwerkzeuge ordnungsgemäß funktionieren. Dies wird als Genauigkeit bezeichnet und bedeutet in der Regel, dass alles in Ordnung ist. All diese Berechnungen helfen dabei, die Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit zu bestimmen. Die Wiederholbarkeit gibt Auskunft über die Effektivität des für Messzwecke verwendeten Werkzeugs. Die Reproduzierbarkeit zeigt, wie viel Variation zwischen den Operatoren besteht und ob eine aktualisierte Schulung oder Prozessverwaltung erforderlich ist. Es reicht nicht aus, ein Messsystem zu haben, wenn es nie ordnungsgemäß analysiert und kalibriert wird. Ohne eine solide MSA leidet die Qualität der Produkte. Eine nützliche MSA hilft Unternehmen dabei, Möglichkeiten zur

Anpassung und Verbesserung sowohl von Messwerkzeugen als auch von Messprozessen zu ermitteln. Messsystemfehler sind eine Art von statistischem Fehler, der auftritt, wenn das verwendete Messgerät zur Ermittlung einer Messung ungenau ist. Dies kann aus verschiedenen Gründen passieren, aber oft liegt es daran, dass das Messgerät ordnungsgemäß kalibriert werden muss oder die Person, die es verwendet, angemessen geschult werden muss. Messsystemfehler können auch auftreten, wenn das Messgerät nicht ordnungsgemäß gewartet wird oder wenn die Messbedingungen nicht ideal sind. Variation ist ein Maß für die Streuung von Messwerten in einem Satz, und je größer die Variation ist, desto ungenauer sind die Daten. Präzision hingegen ist ein Maß dafür, wie eng zwei Messungen beieinander liegen und wie wahrscheinlich es ist, dass sie korrekt sind. Präzision bezieht sich auf die Anzahl der Dezimalstellen im Messwert und misst den Unterschied zwischen Werten, die nahe beieinander liegen. Die Messsystemanalyse ist wichtig, weil sie die Qualität von Messungen verbessern kann. Darüber hinaus kann die MSA verwendet werden, um die Auswirkungen von Messfehlern auf die Prozessfähigkeit zu untersuchen. Schließlich kann die MSA dazu beitragen, die Genauigkeit von Messungen zu verbessern. Nachdem ich die notwendigen Messungen und Auswertungen vorgenommen hatte, schickte ich die Daten an Michael, der diese Daten auf dem Server übertragen würde. Dann wurde die MSA von Steven aus München durchgeführt. Während meines Praktikums habe ich insgesamt drei MSA durchgeführt. Außerdem war ich bei der MSA des anderen Scan-Systems, dem GOM Box, anwesend. Dies war der gleiche Scanner mit dem Roboterarm, für den Michael verantwortlich war. Damit schließt dieses Kapitel der MSA ab. Im nächsten Kapitel werde ich über einige verschiedene Aufgaben schreiben, für die ich während meines Praktikums bei der MTU verantwortlich war.

Weitere Tätigkeiten im Praktikum

Ein weiteres Projekt, bei dem ich während meines Praktikums geholfen habe, war das EEDB 2.0. Das Unternehmen hat einen großen Katalog namens ECMS, der verschiedene Begriffe, Codes, Formeln und Variablen enthält. Alle diese Daten werden aus allen Abteilungen gesammelt, und jeder Wert hat eine bestimmte Funktion. Der Katalog ist sehr umfangreich, und einige Variablen haben nicht einmal eine Erklärung für ihren Zweck. Das macht das Auffinden der Funktionen im Katalog zu einer sehr schwierigen Aufgabe. Um den Katalog zu organisieren, wurde ein Projekt namens EEDB ins Leben gerufen. Ziel dieses Projekts war es, einige der Elemente in der Liste zu beschreiben, damit sich jemand, der Informationen daraus benötigt, schnell orientieren kann. Nach einiger Zeit wurde das nächste Projekt namens EEDB 2.0 ins Leben gerufen. Dies sollte dort beginnen, wo das letzte Projekt aufgehört hatte. Meine Aufgabe als Praktikant bestand darin, so viele Elemente im Katalog wie möglich zu finden und nach deren Beschreibung zu suchen. Alle Elemente im Katalog waren nur zwei Mitarbeitern bekannt, Ali-Reza und Björn. Bei der Suche nach den Beschreibungen der Elemente ging ich oft zu den Mitarbeitern in der Werkstatt und fragte sie. Manchmal bat ich Ali und Björn um die Beschreibungen, so dass nach und nach Fortschritte erzielt wurden. Dies ist jedoch ein sehr langer Prozess, der viel Zeit in Anspruch nehmen wird.

Wir wurden von den Kollegen von MTU Maintenance Zhuhai in China besucht, die für zwei Wochen in Hannover bleiben würden. Ihre Namen waren Baolin und Bai, Inspektionsingenieure. In der ersten Woche besuchten sie einige Einrichtungen von MTU Hannover und wurden von unserem Teamleiter Simon Bittner begleitet. In der zweiten Woche begleitete ich die beiden chinesischen Kollegen. Sie waren besonders an dem optischen Scanner interessiert, der aus GOM Braunschweig mitgebracht wurde. In Zhuhai hatten sie einen ähnlichen Handscanner, der jedoch nicht so genau war wie die ATOS 5-Maschine. Sie hatten zuvor die Reprint-Maschine besichtigt, und wir diskutierten darüber, wie der optische Scanner in einigen Fällen praktischer sein könnte als der Reprint. Der Reprint war eine Standardmethode, um sehr feine Details in der Werkstatt zu inspizieren. Es funktionierte, indem zwei gelartige Substanzen gemischt wurden, um ein Kunststoffmaterial zu erhalten. Dieses Material musste an der Oberfläche des Teils befestigt werden. Nach fünf

Minuten wurde die Substanz gehärtet und konnte zur Inspektion ins Labor geschickt werden. Da das Labor oft überlastet war, wurden häufig alternative Inspektionslösungen verwendet. Laut den chinesischen Kollegen war der optische Scanner praktischer als die Reprint-Methode, insbesondere um Löcher in den Teilen zu messen. Das Kunststoffmaterial passte nicht in sehr enge Löcher. Der optische Scanner hatte auch seine Grenzen, da er nur die Bereiche der Löcher sehen konnte, die für die Kameras sichtbar waren. Obwohl er in der Praxis dank des Triple-Scan-Prinzips sehr gute Ergebnisse lieferte. Ich begann den Kollegen zu erklären, wie der Scanner funktionierte und gab einige Einblicke aus meiner Perspektive. Außerdem haben wir einige Klingen gescannt und einige Ergebnisse ausgewertet. Dann haben wir mit Hilfe der GOM-Software die Abmessungen der Beschädigungen der Klingen gemessen. Laut ihnen wäre diese Maschine in ihrer Werkstatt in China sehr hilfreich. Ich hatte auch mehrmals die Möglichkeit, einige Teile in der Werkstatt zu scannen. Wenn ein Mechaniker unsicher war über ein beschädigtes Teil, wurde es mit dem optischen Scanner gescannt, um eine bessere Einschätzung zu erhalten. Obwohl dieses Messsystem noch nicht die MSA bestanden hatte und nicht als endgültige Messmethode verwendet werden konnte. Nach der Messung, wenn die Größe der Beschädigung groß genug war, wurde das Teil zur ordnungsgemäßen Inspektion geschickt. Das entschieden die Mechaniker, die an der Demontagelinie arbeiteten. Die Inspektion der Teile wurde von mir und Michael Bachstein durchgeführt. Indem wir den Scanner zunächst an den Ort des beschädigten Teils bewegten, wurde einmal mehr die große Mobilität und Flexibilität des Scanners deutlich. Es war zu bemerken, dass der optische Scanner bei Scheiben mit großer Größe Schwierigkeiten hatte. Aufgrund des kleinen Messvolumens war er besser für kleine Einzelbeschädigungen geeignet. Angesichts der Vorteile dieses Systems auf dem Werkstattboden lässt sich schlussfolgern, dass der ATOS 5 optische Scanner ein nützliches und praktisches Gerät ist.

Zusammenfassung

Während meines Praktikums bei MTU konnte ich neues Wissen im Bereich der Luft- und Raumfahrttechnik erlangen. Ich wurde mit der Technologie hinter Flugzeugtriebwerken und deren Funktionsweise vertraut gemacht. Dieses faszinierende Feld hat mich schon immer interessiert, und die Möglichkeit, ein Unternehmen von solch hoher Klasse aus erster Hand zu erleben, hat mich privilegiert fühlen lassen. Ich konnte auch die verschiedenen Prozesse der Triebwerkswartung bei MTU Hannover verstehen. Die Begegnung mit zahllosen talentierten Mitarbeitern in diesem Unternehmen hat mich dazu inspiriert, meine Fähigkeiten als Ingenieur weiterzuentwickeln. Ich konnte die Arbeitsweise der Ingenieure in meiner Abteilung beobachten und viel von ihnen lernen. Ich habe eine Menge Erfahrung in den verschiedenen Prozessen der Inspektion gesammelt und aus erster Hand die Details kennengelernt, die in jedem einzelnen Prozess eine Rolle spielen. Ich konnte an verschiedenen Aktivitäten und Projekten teilnehmen, hatte die Möglichkeit, an verschiedenen Schulungen teilzunehmen und praktisch neue Methoden der Triebwerksinspektion zu erlernen. Bei meiner Arbeit mit dem 3D-Mobilscanner konnte ich selbstständig einen Scan und eine Bewertung eines Teils durchführen. Ich habe neue Möglichkeiten gelernt, ein Inspektionsproblem zu bewältigen, sei es schwierige Bereiche des Teils, schwierige Oberflächen oder schwierige Umgebungsbedingungen. Ich habe neue praktische Wege gelernt, diese Probleme zu überwinden und bei jedem Scan eine präzise Messung zu erzielen. Mit dem neu erworbenen Wissen bin ich nun vertraut mit den verschiedenen Herausforderungen, die im Inspektionsprozess auftreten können, und weiß, wie technologische Innovation viel Zeit sparen, die Kosten für das Unternehmen senken und die Belastung der Mitarbeiter verringern kann. Während des Scanvorgangs mit dem 3D-Scanner habe ich auch gelernt, wie bestimmte Schäden in bestimmten Triebwerksteilen verursacht wurden. Es war offensichtlich, dass bestimmte Teile eine Affinität dazu hatten, an Stellen, an denen mehr Reibung auftrat, stärker beschädigt zu werden. Durch das Erstellen von Berichten jede Woche habe ich gesehen, wie dieser Prozess sich positiv auf das Unternehmen auswirkte und die angestrebten Verbesserungen zeigte. Der hohe Standard, den ich bei MTU Hannover vorgefunden habe, wird immer eine Inspiration für meine zukünftigen Aktivitäten im Bereich der Ingenieurwissenschaften sein.