

AI-evolutie in vliegtuigonderhoud: Efficiëntie in MRO-processen

Technology

bachelor in de **luchtvaart**

afstudeerrichting **bemande luchtvaarttechnologie**

campus **Oostende VLOC**

Gedeon Adediha

VIVES-mentor: Ronny van Belleghem

academiejaar **2023-2024**



AI-evolutie in vliegtuigonderhoud: Efficiëntie in MRO-processen

Technology

bachelor in de **luchtvaart**

afstudeerrichting **bemande luchtvaarttechnologie**

campus **Oostende VLOC**

Gedeon Adediha

VIVES-mentor: Ronny van Belleghem

academiejaar **2023-2024**

AI evolution in aircraft maintenance: Streamlining MRO processes

Technology

bachelor in de **luchtvaart**

afstudeerrichting **bemande luchtvaarttechnologie**

campus **Oostende VLOC**

Gedeon Adediha

VIVES-mentor: Ronny van Belleghem

academiejaar **2023-2024**

Voorwoord

Deze studie is uitgevoerd in het kader van mijn bachelorproef, gekozen binnen de opleiding Bemande Luchtvaarttechnologie, samen met de heer Becuwe. Hoewel ik mijn bachelorproef niet in samenwerking met een bedrijf heb uitgevoerd, heb ik wel een interview gehad met Marcelo Iannini tijdens mijn stage bij TUI Airlines Belgium nv. Hij heeft mijn interesse gewekt voor het gebruik van AI in vliegtuigonderhoud en heeft laten zien dat dit een breed onderwerp is. Het hoofddoel van dit onderzoek is om meer inzicht te krijgen in welke AI-technieken momenteel worden gebruikt of in de toekomst kunnen worden toegepast. Na het lezen van deze bachelorproef is het de bedoeling om een goed begrip te hebben van waarom AI een revolutionaire stap zet in het onderhoud en welke voordelen het met zich meebrengt.

Ik wil graag TUI bedanken, in het bijzonder Filip Coppenholle, voor het regelen van een interview met Marcelo Iannini en Max Witteman. Dankzij dit gesprek heb ik veel kunnen leren. Daarnaast wil ik mijn VIVES-mentor, de heer Van Belleghem, bedanken. Zijn hulp heeft me uiteraard door het hele proces geholpen.

Samenvatting

Nederlands:

Deze bachelorproef probeert de implementatie van artificiële intelligentie in vliegtuigonderhoud te onderzoeken. Eerlijk gezegd, ik was geïnspireerd door het onderwerp van AI zelf en wilde graag begrijpen hoe het toegepast kan worden binnen de luchtvaartsector. Het belang van deze bachelorproef is gericht op nieuwe mogelijkheden die zullen worden onthuld over hoe AI-efficiëntie op het gebied van vliegtuigonderhoud zou kunnen veroorzaken.

De aanpak omvatte het onderzoeken van verschillende AI-technieken, het verkennen van *Maintenance, Repair and Overhaul* (MRO) procedures en het analyseren van de impact van AI op vliegtuigonderhoud en de effecten ervan. Het bleek dat *machine learning* en *computer vision* belangrijke rollen zijn voor nieuwe schema's en het optimaliseren van inspectieprocessen. *Aerogility* beweert dat luchtvaartmaatschappijen door het gebruik van AI ongeveer 3 miljoen dollar kunnen besparen en de hele sector kunnen updaten.

Na afronding van de bachelorproef moet worden geconcludeerd dat de huidige invloed al groots is, maar de toekomst belooft veel meer effect dan nu. Met andere woorden, AI is op het punt om vliegtuigonderhoud zoveel mogelijk te verbeteren.

Engels:

This bachelor's thesis tries to investigate the implementation of artificial intelligence in aircraft maintenance. To be fair, I was inspired by the topic of AI itself and I was keen to understand how it could be more understandable and applicable within the aviation sector. The importance of the thesis is focused on uncovering new possibilities regarding how AI could cause efficiency in aircraft maintenance.

The approach involved researching various AI technologies, exploring Maintenance, Repair and Overhaul (MRO) procedures and analyzing the impact of AI on aircraft maintenance, as well as the effects of it. I found out that machine learning and computer vision play significant roles in developing new schedules and optimizing inspections. *Aerogility* claims that airlines can save millions of dollars and update the entire industry by using AI.

At the end of my thesis, I concluded that the current impact is great, but the future promise much more effect than now. In other words, AI is about to significantly enhance aircraft maintenance in the coming years.

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	5
Samenvatting.....	6
Inhoudsopgave.....	7
Lijst met illustraties	11
Gebruikte symbolen en afkortingen.....	13
Inleiding.....	16
1. Maintenance, Repair en Overhaul in de luchtvaart.....	17
1.1. Wat houdt MRO precies in	17
1.1.1. <i>Definitie</i>	17
1.1.2. <i>Geschiedenis rond MRO</i>	17
1.2. Onderhoud	19
1.2.1. <i>Preventief onderhoud</i>	19
1.2.2. <i>Predictief onderhoud</i>	21
1.2.3. <i>Correctief onderhoud</i>	21
1.2.4. <i>Progressief onderhoud</i>	21
1.3. Reparatie	22
1.4. Revisie.....	22
1.4.1. <i>Demonteren</i>	22
1.4.2. <i>Inspecteren</i>	22
1.4.3. <i>Reparatie</i>	22
1.4.4. <i>Assembleren</i>	22
1.4.5. <i>Testen</i>	23
1.5. Onderhoudsplanning / operaties	23
1.5.1. <i>Periodiek systeem</i>	23
1.5.2. <i>Fazesysteem</i>	23
1.5.3. <i>Isochroon systeem</i>	23
1.5.4. <i>Evolutief systeem</i>	24
1.5.5. <i>Hard time maintenance</i>	24
1.5.6. <i>On-condition maintenance</i>	24
1.5.7. <i>ASIP</i>	25

1.6.	On-board onderhoudssystemen	25
1.6.1.	<i>Central Maintenance Computer</i>	25
1.6.2.	<i>Data Loading System</i>	26
1.6.3.	<i>Electronic Library System</i>	26
1.6.4.	<i>Structure monitoring</i>	26
1.7.	MRO business models	26
1.7.1.	<i>Independent repair stations</i>	26
1.7.2.	<i>Fixed-base operators</i>	27
1.7.3.	<i>In-house Corporate Facilities</i>	27
1.7.4.	<i>Military Facilities</i>	27
1.7.5.	<i>Commercial Airline Hubs</i>	28
1.7.6.	<i>Regional Airline Facilities</i>	28
2.	Kernbegrippen van artificiële intelligentie	29
2.1.	Definitie en evolutie van AI	29
2.1.1.	<i>Definitie</i>	29
2.1.2.	<i>Evolutie en geschiedenis</i>	30
2.2.	Machine learning en deep learning.....	32
2.2.1.	<i>Machine learning</i>	32
2.2.2.	<i>Deep learning</i>	32
2.2.3.	<i>Wat is nu het verschil?</i>	33
2.3.	Beeldherkenning en computer vision	33
2.3.1.	<i>Beeldherkenning</i>	33
2.3.2.	<i>Computer vision</i>	34
2.3.3.	<i>Wat is nu concreet het verschil?</i>	35
2.4.	Explainable AI	36
2.4.1.	<i>De werking van XAI</i>	36
2.4.2.	<i>Voordelen van XAI</i>	37
2.4.3.	<i>Enkele toepassingen van XAI</i>	38
2.5.	Natuurlijke taalverwerking.....	38
2.6.	Robotica.....	40
2.6.1.	<i>Detecteren en reageren</i>	40
2.6.2.	<i>Pick-and-place</i>	41

3.	Toepassingen en integratie van artificiële intelligentie in vliegtuigonderhoud.....	42
3.1.	Voordelen.....	42
3.1.1.	<i>Veiligheid verbeteren en downtime verminderen.....</i>	42
3.1.2.	<i>Kosten.....</i>	43
3.1.3.	<i>Verbeterd beheer van het vliegtuig</i>	43
3.1.4.	<i>Besluitvorming en werkdruk optimalisatie</i>	43
3.1.5.	<i>Diepgaande analyse en rapportage.....</i>	43
3.2.	Toepassingen en integratie	44
3.2.1.	<i>Onderhoudsschema's en documentatie.....</i>	44
3.2.2.	<i>Autonome monitoring van prestaties</i>	45
3.2.3.	<i>Predictief onderhoud.....</i>	45
3.2.4.	<i>AI-aangedreven visuele inspecties</i>	47
3.3.	Risico's en uitdagingen.....	49
3.3.1.	<i>Betrouwbaarheid en nauwkeurigheid.....</i>	49
3.3.2.	<i>Datakwaliteit en -integriteit.....</i>	50
3.3.3.	<i>Cybersecurity en privacy</i>	50
3.3.4.	<i>Afhandeling van uitzonderingen en onverwachte situaties.....</i>	50
3.3.5.	<i>Regelgeving.....</i>	50
4.	Praktijkvoorbeelden en case studies	51
4.1.	Succesverhalen.....	51
4.1.1.	<i>Aiir Edge Hot (v7.0).....</i>	51
4.1.2.	<i>Aerogility.....</i>	53
4.1.3.	<i>Lufthansa Technik: AVIATAR.....</i>	55
4.1.4.	<i>KLM: PROGNOS.....</i>	56
4.2.	Case studies	58
4.2.1.	<i>Delta Air Lines</i>	58
4.2.2.	<i>Airbus</i>	59
4.2.3.	<i>Boeing</i>	60
5.	Wetgeving, ethiek en veiligheid in AI-ondersteund vliegtuigonderhoud.....	61
5.1.	Naleving van wetgeving en standaarden	61
5.1.1.	<i>ICAO</i>	61
5.1.2.	<i>EASA.....</i>	64

5.1.3.	FAA.....	66
5.1.4.	Persoonlijke visie omtrent toekomstige regelgeving	67
5.2.	Ethische overwegingen volgens EASA.....	67
5.2.1.	Menselijke regie en toezicht.....	67
5.2.2.	Technische robuustheid en veiligheid	68
5.2.3.	Privacy en gegevensbeheer.....	68
5.2.4.	Transparantie.....	68
5.2.5.	Diversiteit	68
5.2.6.	Milieubelang	68
5.2.7.	Verantwoordingsplicht.....	69
5.3.	Veiligheid en risicobeheer	69
5.3.1.	Human Factors.....	69
6.	Toekomstige ontwikkelingen	73
6.1.	Opkomende technologieën en innovaties	73
6.1.1.	A*STAR.....	73
6.1.2.	AkzoNobel	74
6.1.3.	Lufthansa Group: AI drone inspectie.....	74
6.1.4.	TUI Airlines	76
6.2.	Routeplan van EASA voor de komende jaren.....	76
	Algemeen besluit	78
	Bibliografie	79
	Bijlagen.....	83

Lijst met illustraties

Figuur 1: Erla-loods voor vliegtuigonderhoud tijdens de Tweede Wereldoorlog	17
Figuur 2: JAA-logo	18
Figuur 3: Line maintenance	19
Figuur 4: Base/Light maintenance	19
Figuur 5: Heavy/Base maintenance	20
Figuur 6: Het grote verschil tussen correctief, preventief en predictief onderhoud	21
Figuur 7: De manier waarop vervanging van een onderdeel bepaalt wordt bij On-condition maintenance	24
Figuur 8: A330 centrale onderhoudssysteem	25
Figuur 9: Fixed-base operator	27
Figuur 10: Military Facility	27
Figuur 11: Commercial Airline Hubs van British Airways in London-Heathrow, London-Gatwick en New York City	28
Figuur 12: Wat is artificiële intelligentie?	29
Figuur 13: Dagelijks leven en mogelijk gebruik van AI	31
Figuur 14: Artificial intelligence, machine learning en deep learning	32
Figuur 15: Wat doet AI voor beeldherkenning en computer vision?	33
Figuur 16: Voorbeeld van computer vision in werking	34
Figuur 17: XAI helpt menselijke gebruikers de redenering achter AI- en machine learning-algoritmen te begrijpen om hun vertrouwen te vergroten.	36
Figuur 18: Toepassingen van natuurlijke taalverwerking	39
Figuur 19: Robotica vindt zijn weg in de luchtvaartindustrie	40
Figuur 20: Voorbeeld van een pick-and-place robot die een flesje vastneemt	41
Figuur 21: AI in vliegtuigonderhoud: Hoe het de industrie verandert	42
Figuur 22: Testen van een AI-gedreven vliegtuigonderhoudsschema	44
Figuur 23: Digital Twins bij vliegtuigonderhoud	47
Figuur 24: Het gebruik van computer vision in de luchtvaart	48
Figuur 25: Test van een drone die gebruik wordt bij vliegtuigonderhoud	48
Figuur 26: Robot dat aan het vliegtuig kan plakken en structurele inspecties uitvoert	49
Figuur 27: Het beeld van de Aiir Edge op 'freeze'	52
Figuur 28: Live beeldfragmenten van de Aiir Edge	52
Figuur 29: Voordelen die Aerogility kan bieden aan luchtvaartmaatschappijen	54
Figuur 30: Data gebruiken ten voordele om een motor te inspecteren	55
Figuur 31: Overzicht van de vliegtuigen; aantal meldingen bij de A320, A380, 777, 747 en 787	56
Figuur 32: Uitdaging, oplossing en resultaat bij de integratie van AI in vliegtuigonderhoud bij Delta Air Lines	58
Figuur 33: Uitdaging, oplossing en resultaat bij de integratie van AI in vliegtuigonderhoud bij Airbus	59

Figuur 34: Uitdaging, oplossing en resultaat bij de integratie van AI in vliegtuigonderhoud bij Boeing	60
Figuur 35: Logo van ICAO.....	61
Figuur 36: Logo van EASA	64
Figuur 37: Verwachte regelgevende structuur voor AI in de luchtvaartindustrie.....	65
Figuur 38: Logo van de FAA	66
Figuur 39: Overzicht van alle zeven ethische richtlijnen volgens de Europese Commissie	69
Figuur 40: Interactie tussen mens en AI	70
Figuur 41: Concept van camera's die in de hangar hangen en gebruik maken van computer vision om defecten te detecteren.....	73
Figuur 42: Robot die beelden maakt van de zijkant van het vliegtuig (bereik van 2 meter)	73
Figuur 43: Drone die ingezet worden om coating van het vliegtuig te analyseren.....	74
Figuur 44: Drone vliegt rond het vliegtuig en neemt beelden op	75
Figuur 45: Stakeholders en AI Roadmap voor de komende jaren	77

Gebruikte symbolen en afkortingen

AI	<i>Artificial Intelligence</i> (Artificiële Intelligentie)
MRO	<i>Maintenance, Repair and Overhaul</i> (Onderhoud, Reparatie en Revisie)
TUI	Touristik Union International
ICAO	International Civil Aviation Organization
FAA	Federal Aviation Administration
JAA	Joint Aviation Authorities
EASA	European Union Aviation Safety Agency
EU	Europese Unie
AMM	<i>Aircraft Maintenance Manual</i> (Vliegtuigonderhoudsmanual)
CMM	<i>Component Maintenance Manual</i> (Component Onderhoudsmanual)
AD	<i>Airworthiness Directive</i> (Luchtwaardigheidsrichtlijn)
SB	Service Bulletin
ASIP	Aircraft Structural Integrity Program
CMC	<i>Central Maintenance Computer</i> (Centrale Onderhoudscomputer)
BITE	Built-In Test Equipment
CMS	<i>Central Maintenance System</i> (Centrale Onderhoudssysteem)
LRU	Line-Replaceable Unit
FBO	Fixed-Base Operator
IBM	International Business Machines Corporation
ChatGPT	Chat Generative Pre-trained Transformer
ML	<i>Machine Learning</i> (Machinaal Leren)
IR	<i>Image Recognition</i> (Beeldherkenning)
CNN	<i>Convolutional Neural Networks</i> (Convolutionele Neurale Netwerken)
ID	Identificatie/Identiteit
OCR	<i>Optical Character Recognition</i> (Optische Tekenerkenning)
GIF	Graphics Interchange Format
XAI	Explainable Artificial Intelligence
LIME	Local Interpretable Model-Agnostic Explanations
DeepLIFT	Deep Learning Important FeaTures

DNA	Deoxyribonucleic Acid
NLP	<i>Natural Language Processing</i> (Natuurlijke Taalverwerking)
CAD	Computer-Aided Design
KBS	Knowledge Based Systems
CBR	Case Based Reasoning
ADR	Anomaly Detection and Response
iQ	intelligent Quality
APU	Auxiliary Power Unit
CO ₂	Koolstofdioxide
M&E	Maintenance & Engineering
AOG	Aircraft on Ground
ACMS	Aircraft Condition Monitoring System
ROI	<i>Return on Investment</i> (Rendement op Investering)
DOT	Department of Transportation
COVID-19	Coronavirus Disease 2019
IATA	International Air Transport Association
AN	Aircraft Noise
UAS	<i>Unmanned Aircraft System</i> (Onbemand Vliegtuigstelsel)
IR	<i>Implementing Rules</i> (Implementatieregels)
AMC	<i>Acceptable Means of Compliance</i> (Aanvaardbare middelen van conformiteit)
GM	<i>Guidance Material</i> (Begeleidend Materiaal)
CS	<i>Certification Specification</i> (Certificeringsspecificatie)
NPA	Notice of Proposed Amendment
EC	Europese Commissie
AR	Authority Regulation
OR	Organizational Requirements
TR	Trustworthiness and Transparency
MOC	<i>Means of Compliance</i> (Middelen van conformiteit)
EPAS	<i>European Aviation Safety Plan</i> (Europees Luchtvaartveiligheidsplan)
VS	Verenigde Staten

SFAR	<i>Special Federal Aviation Regulation</i> (Speciale Federale Luchtvaartregelgeving)
NPRM	<i>Notice of Proposed Rulemaking</i> (Aankondiging van Voorgestelde Regelgeving)
FNPRM	<i>Further Notice of Proposed Rulemaking</i> (Nadere Aankondiging van Voorgestelde Regelgeving)
CFR	<i>Code of Federal Regulation</i> (Code van Federale Regulering)
SRMA	Sector Risk Management Agencies
UK	<i>United Kingdom</i> (Verenigd Koninkrijk)
NCSC	<i>National Cyber Security Center</i> (Nationaal Cyberbeveiligingscentrum)
SHELL	Software, Hardware, Environment and Liveware
CRM	Crew Resource Management
MRM	Maintenance Resource Management
PEAR	People, Environment, Actions and Resources
ED	Eurocae Document
OWASP	<i>Open Web Application Security Project</i> (Open Web Applicatie Beveiligingsproject)
LLM	<i>Large Language Model</i> (Groot Taalmodel)
RTCA	<i>Radio Technical Commission for Aeronautics</i> (Radio Technische Commissie voor de Luchtvaart)
MOPS	Minimum Operational Performance Standards
MASPS	Minimum Aviation System Performance Standards
ENISA	European Union Agency for Cybersecurity
SAAVIS	Smart Automated Aircraft Visual Inspection System
3D	<i>Three-Dimensional</i> (driedimensionaal)
UE4	Unreal Engine 4
API	Application Programming Interface
GPU	Graphics Processing Unit
OpenCV	Open Source Computer Vision Library
MaskRCNN	Mask Region-base Convolutional Neural Network
sUAS	small Unmanned Aircraft System
GVI	<i>General Visual Inspection</i> (Algemene Visuele Inspectie)

Inleiding

Artificiële intelligentie, die zich op een ongekend tempo uitbreidt, opent fascinerende mogelijkheden in alle aspecten van leven en werk. Een van de aannemers daarbij is de implementatie van kunstmatige intelligentie in vliegtuigonderhoud. Deze bachelorproef is gericht op het geven van een overzicht van hoe de implementatie van AI er tegenwoordig uitziet en wat de toekomst is van dergelijke technieken in de werkgelegenheid in vliegtuigonderhoud.

Dit onderzoek is onafhankelijk en constateert inzichten vanuit verschillende bronnen, inclusief informatie uit een interview met Marcelo Iannini, een ervaren *Data Scientist* en *Aeronautical Engineer* uit TUI. Zijn inzicht bleek waardevol voor dit onderzoek, en de onderzoeksinteracties met andere experts uit de sector verrijken kennis over de AI-rol in vliegtuigonderhoud.

De structuur van deze paper is opgebouwd rond twee verschillende thema's: *Maintenance, Repair and Overhaul* technieken en AI-implementatie. Eerst en vooral, onderzoek van de MRO-praktijken zorgt voor een basis om het onderwerp te begrijpen. Later verschuift het doel naar het uitleggen van de verschillende toepassingen van AI in dit domein en omvat predictief onderhoud en geautomatiseerde inspectie praktijken.

Vervolgens zullen er praktische voorbeelden aanbod komen die de integratie van AI in verschillende onderhoudspraktijken tonen. Hierna zullen de regelgevende aspecten besproken worden om naleving en veiligheid te waarborgen.

Ten slot biedt deze bachelorproef een overzicht van toekomstige ontwikkelingen en aanstaande trends. Door de bestaande praktijken en toekomstige trends en ontwikkelingen te analyseren, probeert deze bachelorproef een beeld te geven van de implementatie van AI in vliegtuigonderhoud.

1. Maintenance, Repair en Overhaul in de luchtvaart

1.1. Wat houdt MRO precies in

1.1.1. Definitie

Maintenance, Repair and Overhaul (MRO) is een veelzeggende term die wordt gebruikt in de luchtvaartindustrie om alle activiteiten te omvatten die verband houden met het onderhoud, de reparatie en revisie van vliegtuigen onderdelen en systemen om hun luchtwaardigheid en operationele veiligheid te waarborgen.

MRO-activiteiten hebben dus een samenhang van onderhoud, reparatie en revisie om ervoor te zorgen dat vliegtuigen en onderdelen voldoen aan de wettelijke eisen, fabrieksspecificaties en industriestandaards voor veiligheid en prestaties. MRO-providers spelen een cruciale rol bij het ondersteunen van de luchtwaardigheid van vliegtuigen en het waarborgen van de voortdurende veilige werking van de luchtvaartindustrie. (FlyAlliance, 2023) (Kinnison & Siddiqui, 2013)

1.1.2. Geschiedenis rond MRO

1.1.2.1. Beginjaren

Tijdens het begin van de luchtvaart – de vroege 20^{ste} eeuw – waren vliegtuigen eenvoudiger van ontwerp en constructie, dus het onderhoud was vaak eenvoudig. Monteurs en ingenieurs voerden handmatige inspecties en reparaties uit op vliegtuigen die voornamelijk bestonden uit hout, linnen en staal.

1.1.2.2. De Tweede Wereldoorlog

Tijdens deze oorlog werd vliegtuigonderhoud een belangrijk aspect voor militaire operaties. Met als gevolg een grote vooruitgang in de ontwikkeling van onderhoudstechnieken en -procedures, waaronder verbeterde inspectiemethoden, onderhoudsschema volgens een routine en gestandaardiseerde reparatieprocedures.

Ook werd ICAO opgericht in 1944. Hun doel was onder andere het bevorderen

van de veiligheid en efficiëntie van de internationale luchtruim en de ontwikkeling van alle aspecten van de internationale burgerlijke luchtruim. (Hangar Flying, 2023)



Figuur 1: Erla-loods voor vliegtuigonderhoud tijdens de Tweede Wereldoorlog

1.1.2.3. Na de oorlog

Na de Tweede Wereldoorlog begon er een enorme groei binnen de commerciële luchtvaart. Dit leidde tot een toename van efficiënt en veilig vliegtuigonderhoud. Technologische vooruitgang, zoals verbeterde motoren, materialen en nog meer. Dit bracht nieuwe uitdagingen met zich mee voor onderhoudstechniekers.

1.1.2.4. De jaren '50 en '60

Tijdens deze periode werden er ook enorme voortuitgangen geboekt in MRO-praktijken en -technologieën om de kosten te verlagen en efficiëntie te verbeteren. De FAA in de Verenigde Staten werd tijdens deze periode ook opgericht in 1958 om de veiligheid en wetgeving te handhaven.

1.1.2.5. Opkomst JAA

In 1970 werd de *Joint Aviation Authorities* (JAA) opgericht. Ze waren verantwoordelijk voor het bevorderen van luchtvaartnormen en regelgeving binnen Europa. Het was een soort samenwerkingsverband tussen verschillende Europese landen.



Figuur 2: JAA-logo

1.1.2.6. De jaren '90 en 2000

Digitalisering en automatisering werd een nieuwe aspect binnen MRO. De opkomst van computers en digitale technologieën bracht verbazingwekkend veel veranderingen met zich mee in MRO. Diagnosesystemen werden beter, net zoals predictief onderhoud en automatische monitoring van vliegtuigsystemen werden steeds gebruikelijker. Als gevolg verbeterde dit de efficiëntie alsook de veiligheid van het onderhoud.

EASA werd in de EU tijdens deze periode opgericht in 2002 en is de opvolger van JAA. Hun missie is de hoogste gemeenschappelijke normen van veiligheid en milieubescherming in de burgerluchtvaart te promoten.

1.1.2.7. Hoe zit het nu?

Tegenwoordig blijft MRO, voornamelijk vliegtuigonderhoud, evolueren met de introductie van nieuwe materialen – bijvoorbeeld composiet – en geavanceerde systemen, zoals elektrische en hybride aandrijvingen. Naast dit alles speelt bijvoorbeeld data-analyse en natuurlijk artificiële intelligentie een steeds grotere rol in het verbeteren van MRO-processen en het minimaliseren van stilstand tijd.

Over het algemeen is de geschiedenis rond vliegtuigonderhoud de voortdurende inspanning om de veiligheid, efficiëntie en betrouwbaarheid van vliegtuigen te verbeteren met behulp van technologische innovaties en wetgevingsmaatregelen.

1.2. Onderhoud

Onderhoud verwijst naar de routineklussen en inspecties die worden uitgevoerd op vliegtuigen en onderdelen. Dit wordt gedaan om ervoor te zorgen dat ze zich in een veilige en luchtwaardige staat bevinden. Onderhoudsactiviteiten kunnen preventief, predictief en correctief onderhoud omvatten om eventuele afwijkingen of problemen die tijdens inspecties worden gevonden, aan te pakken. (FlyAlliance, 2023)

1.2.1. Preventief onderhoud

1.2.1.1. Line maintenance

Bij *Line maintenance* worden routine-inspecties, controles en kleine reparaties uitgevoerd tussen vluchten of tijdens korte tussenstops op de luchthaven. Dit type onderhoud is meestal snel en vereist geen uitgebreide verwijdering van vliegtuigonderdelen.



Figuur 3: Line maintenance

Voorbeelden hiervan zijn:

- Technische handelingen zoals *preflight checks, daily checks* of *weekly checks*.
- Technische assistentie zoals routine-inspecties, *over-night checks* of *defect rectification*.
- Rampservices zoals *pushbacks, tugs* of *de-icing*.

1.2.1.2. Light maintenance

Lichte onderhoud verwijst eigenlijk naar meer uitgebreide onderhoudstaken die vaak worden uitgevoerd op vliegtuig, maar niet zo intensief zijn als *heavy maintenance*. Het kan worden gepland op basis van operationele uren of cycli en het wordt meestal uitgevoerd in een hangar op de luchthaven.



Figuur 4: Base/Light maintenance

Voorbeelden hiervan zijn:

- *A- & B-checks* zoals systeem inspecties of kleine reparaties die niet per se verwijdering van grote componenten vereisen.

1.2.1.3. Heavy maintenance

Dit is het meest uitgebreide en diepgaande vorm van preventief onderhoud. Het omvat namelijk grote inspecties, revisies en reparaties die periodiek worden uitgevoerd volgens voorgeschreven schema's – ofwel de AMM of CMM – of wanneer specifieke onderhoudstaken moeten worden uitgevoerd.

Dit type onderhoud vereist vaak het vliegtuig *on-hold* te zetten voor gedurende langere perioden – soms zelfs enkele weken – en wordt net zoals *light maintenance* meestal uitgevoerd in een hangar aan de luchthaven.

Voorbeelden hiervan zijn:

- C-, IL- & D-checks zoals het demonteren, inspecteren en reviseren van belangrijke systemen.
- AD (*Airworthiness Directive*) worden uitgegeven wanneer er een onveilige situatie in een vliegtuig is vastgesteld.
- SB (*Service Bulletin*) zijn niet verplichte modificaties, uitgegeven door de fabrikant.
- Verven
- Renovaties



Figuur 5: Heavy/Base maintenance

1.2.2. Predictief onderhoud

Predictief onderhoud is het gebruik van gegevensanalyse, sensoren en monitoringstechnieken om toekomstige storingen en problemen te voorspellen voordat ze zich daadwerkelijk voordoen.

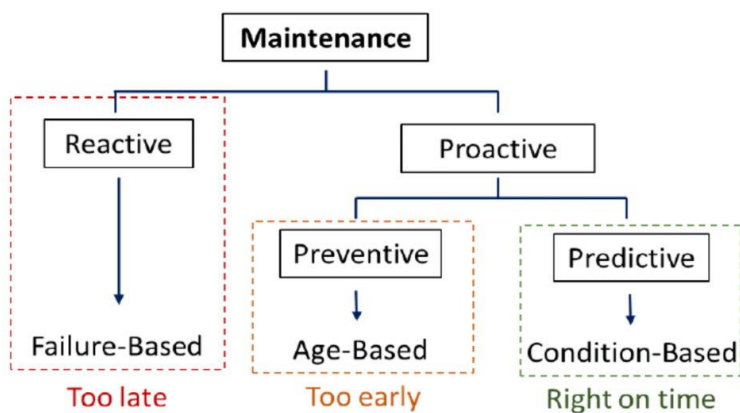
Het maakt gebruik van geavanceerde technologieën zoals prognosesoftware, sensorgegevens en andere technieken om veranderingen in de prestaties of conditie van vliegtuigonderdelen te detecteren.

Door potentiële problemen vroegtijdig te identificeren, kan predictief onderhoud helpen om ongeplande stilstand tijd te minimaliseren en de operationele efficiëntie te verbeteren.

1.2.3. Correctief onderhoud

Je hebt ook nog correctief onderhoud, dit verwijst naar onderhoudsactiviteiten die worden uitgevoerd als reactie op een geïdentificeerd probleem of defect op een vliegtuig. Het wordt meestal uitgevoerd nadat een storing heeft plaatsgevonden en het kan variëren van eenvoudige reparaties tot uitgebreide revisies, afhankelijk van de ernst van het probleem.

Het doel van correctief onderhoud is om het vliegtuig snel weer operationeel te maken en eventuele storingen te verhelpen die de veiligheid, betrouwbaarheid of prestaties van het vliegtuig kunnen beïnvloeden. (Flix Software)



Figuur 6: Het grote verschil tussen correctief, preventief en predictief onderhoud

1.2.4. Progressief onderhoud

Progressief onderhoud is een innovatieve benadering van onderhoudsplanning die erop gericht is de efficiëntie te verhogen en de beschikbaarheid van apparatuur, zoals vliegtuigen, te maximaliseren. In plaats van traditionele, vaste onderhoudsschema's, maakt progressief onderhoud gebruik van flexibele en continue onderhoudsactiviteiten. Dit betekent dat onderhoudswerkzaamheden worden verdeeld over kortere, frequente intervallen, waardoor lange stilstand periodes worden voorkomen.

1.3. Reparatie

Reparatie omvat het repareren of herstellen van vliegtuigonderdelen of -systemen die beschadigd, defect of versleten zijn. Reparaties kunnen variëren van kleine reparaties tot grote structurele reparaties, afhankelijk van de omvang van de schade en de impact op de luchtwaardigheid van het vliegtuig. (FlyAlliance, 2023)

1.4. Revisie

Revisie is een uitgebreid onderhoudsproces dat het demonteren, inspecteren, repareren en weer monteren van onderdelen of systemen omvat om ze weer in een bruikbare staat te brengen. Revisies worden meestal uitgevoerd op gespecificeerde intervallen om de voortdurende betrouwbaarheid en veiligheid van het vliegtuig te waarborgen. (FlyAlliance, 2023)

1.4.1. Demonteren

Demontage omvat het zorgvuldig en systematisch verwijderen van componenten en/of systemen uit het vliegtuig. Bouten, bevestigingsmiddelen en bedrading worden losgemaakt en vervolgens worden de componenten voorzichtig gedemonteerd om beschadiging te voorkomen.

De bedoeling is uiteindelijk om toegang te krijgen tot de onderdelen die moeten geïnspecteerd, gerepareerd of vervangen tijdens het revisieproces.

1.4.2. Inspecteren

Inspectie omvat grondige visuele en functionele beoordelingen van alle gedemonteerde onderdelen en systemen. Dit omvat het controleren op slijtage, corrosie, scheuren, vervormingen en andere tekenen van schade of verouderingen.

1.4.3. Reparatie

Reparatie omvat het uitvoeren van alle noodzakelijke reparaties en vervangingen om onderdelen of systemen terug te brengen naar een luchtwaardige staat. Dit kan het herstellen van beschadigde oppervlakken, het vervangen van versleten onderdelen, of het herstellen van beschadigde structuren omvatten.

1.4.4. Assembleren

Assemblage omvat het zorgvuldig samenstellen van gereviseerde onderdelen en systemen nadat reparaties en vervangingen zijn uitgevoerd. Dit omvat het correct plaatsen en bevestigen van onderdelen en het zorgen voor de juiste pasvorm en functionaliteit.

1.4.5. Testen

Testen omvat het uitvoeren van functionele en prestatietesten om te verifiëren dat gereviseerde onderdelen en systemen voldoen aan specificaties en vereisten. Dit kan het uitvoeren van grondtests, simulatietests of operationele tests omvatten, afhankelijk van de aard van de componenten.

1.5. Onderhoudsplanung / operaties

Onderhoudsplanung en -operaties verwijzen naar de processen die worden uitgevoerd om ervoor te zorgen dat vliegtuigen en hun componenten veilig, betrouwbaar en luchtwaardig blijven gedurende hun operationele levensduur.

1.5.1. Periodiek systeem

Het periodiek systeem is gebaseerd op een inspectiecyclus waarin kleinere en grotere inspecties elkaar afwisselen en dit is afhankelijk van de werkingsuren van het vliegtuig.

Dit wil zeggen dat het vliegtuig regelmatig wordt onderworpen aan normale routine-inspecties, maar ook meer uitgebreide inspecties zodat problemen op tijd geïdentificeerd kunnen worden.

1.5.2. Fazesysteem

Het fasesysteem is een variant van het periodieke systeem die is gebaseerd op een inspectiecyclus waarbij alle fasen gelijkwaardig zijn qua werklast en vereiste middelen.

Net als het periodieke systeem is het onderhevig aan slijtage, maar de bijkomende voordelen zijn dat de werklast gelijkmatig verdeeld is en de beschikbare middelen efficiënter worden benut.

1.5.3. Isochroon systeem

Het isochroon systeem is bijna hetzelfde principe als het periodiek systeem. Het enige verschil is dat het niet afhankelijk is van de werkingsuren van het vliegtuig, maar van de kalendertijd. Hierdoor worden inspecties uitgevoerd op regelmatige intervallen, ongeacht het aantal vliegreuren van het vliegtuig.

Kortom zorgt dit systeem ervoor dat vliegtuigen regelmatig worden onderhouden, zelfs als ze gedurende een bepaalde periode niet veel vliegreuren hebben gemaakt.

1.5.4. Evolutief systeem

Het evolutief systeem houdt rekening met de leeftijd van het vliegtuig bij het plannen van inspecties. Bij dit systeem neemt het inspectie-interval af naarmate het vliegtuig ouder wordt. De oorzaak hiervan is omdat oudere vliegtuigen doorgaans meer slijtage vertonen en dus een hoger risico hebben op problemen.

Dus als we de inspectie-interval verkorten naarmate het vliegtuig ouder wordt, kunnen we potentiële problemen tijdig opsporen en aanpakken.

1.5.5. Hard time maintenance

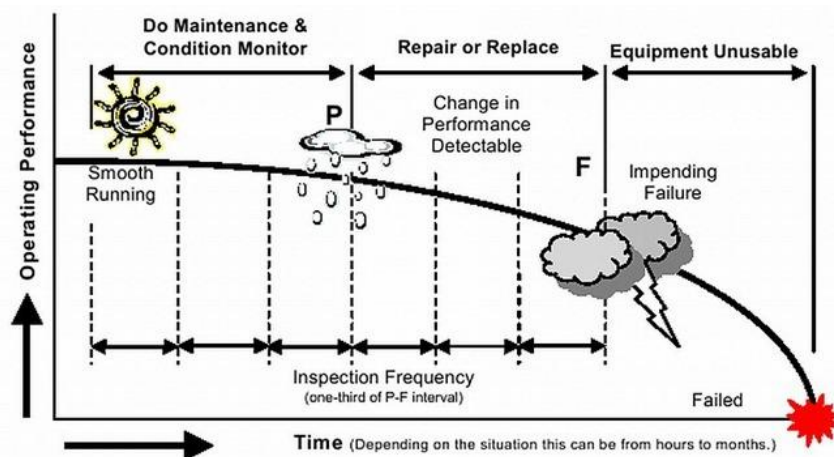
Dit is gebaseerd op het principe van het onderhouden van vliegtuigen op vaste tijdstippen, ongeacht de conditie van de vliegtuigonderdelen.

Safe life; dit is een benadering waarbij geen back-ups of falen van onderdelen worden getolereerd. Dit wil eigenlijk zeggen dat wanneer een bepaald onderdeel zijn vooraf bepaalde levensduur heeft bereikt, het vervangen moet worden om te voorkomen dat het faalt en catastrofale gevolgen heeft.

1.5.6. On-condition maintenance

Hier wordt onderhoud uitgevoerd op basis van de conditie van de vliegtuigonderdelen. Dit omvat eigenlijk het monitoren van de conditie van onderdelen door middel van inspecties, tests en analyses.

Fail safe; dit is een benadering back-ups beschikbaar zijn in geval van falen van een onderdeel. Als er bijvoorbeeld een storing optreedt, kan deze worden gedetecteerd voordat deze catastrofaal wordt, waardoor er tijd is voor een reparatie of een vervanging. (Pita)



Figuur 7: De manier waarop vervanging van een onderdeel bepaalt wordt bij *On-condition maintenance*

1.5.7. ASIP

ASIP staat voor *Aircraft Structural Integrity Program*. Dit programma is een systematische benadering voor het waarborgen van de structurele integriteit van vliegtuigen gedurende hun operationele levensduur. Het ASIP omvat verschillende processen en activiteiten, waaronder inspecties, analyses, tests, en onderhoudsprogramma's, om ervoor te zorgen dat vliegtuigen structureel veilig en luchtwaardig blijven.

Het hoofddoel van het ASIP is om potentiële structurele zwakke punten en problemen te identificeren en te beheren, zodat de veiligheid van het vliegtuig kan worden gewaarborgd. Dit omvat het monitoren van structurele belastingen, het evalueren van de conditie van vliegtuigonderdelen en -systemen, en het implementeren van passende onderhouds- en reparatiestrategieën om eventuele tekortkomingen aan te pakken. (Becuwe, 2021)

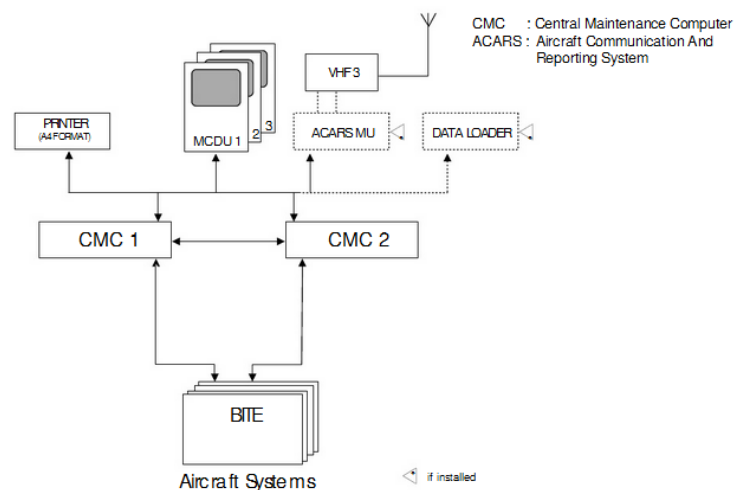
1.6. On-board onderhoudssystemen

1.6.1. Central Maintenance Computer

Een *Central Maintenance Computer* verzamelt en slaat onderhoudsgegevens op voor vliegtuigsystemen. Belangrijke functies omvatten het verwerken van storingen, testen, het bijhouden van storingsgeschiedenis en rapportage. De CMC bewaakt vliegtuigsystemen op storingen, verwerkt storingsinformatie en levert onderhoudsberichten. Onderhoudsberichten voorzien het grondpersoneel van gedetailleerde storingsinformatie om te helpen bij het oplossen van problemen.

De CMC slaat en beheert waarschuwingen op die worden gegenereerd door de *Built-In Test Equipment* (BITE) die is geïntegreerd in de vliegtuigcomputers. Als onderdeel van een *Central Maintenance System* (CMS) wordt de CMC gebruikt voor korte termijn probleemoplossing, vervanging van *Line-Replaceable Unit* (LRU) en systeemfoutanalyse of test.

Berichten gegenereerd door de CMC kunnen een verslechtering of verlies van systeemfunctie aangeven en daarom helpen bij het diagnosticeren van storingen tijdens de vlucht. (SKYbrary)



Figuur 8: A330 centrale onderhoudsysteem

1.6.2. Data Loading System

Dit systeem maakt het mogelijk om gegevens van externe bronnen te laden naar de *Central Maintenance Computer* aan boord van het vliegtuig. Deze gegevens kunnen onder meer bestaan uit software-updates, technische documentatie, vluchtgegevens en onderhoudsrapporten. Het *Data Loading System* zorgt ervoor dat de *Maintenance Computers* altijd up-to-date zijn met de nieuwste informatie.

1.6.3. Electronic Library System

Het *Electronic Library System* bevat een digitale bibliotheek met technische handleidingen, procedures, schema's en andere documentatie die nodig zijn voor het uitvoeren van onderhouds- en reparatietaken. Het stelt technici aan boord van het vliegtuig in staat om snel toegang te krijgen tot relevante informatie en procedures tijdens onderhoudsprocedures.

1.6.4. Structure monitoring

Dit systeem omvat sensoren en monitoringapparatuur die zijn geïnstalleerd in verschillende delen van het vliegtuig om de structurele integriteit te bewaken. Het controleert continu de conditie van de romp, vleugels, staartsecties en andere vitale componenten, en detecteert eventuele anomalieën of tekenen van slijtage die kunnen wijzen op potentiële problemen.

Dit stelt het onderhoudspersoneel in staat om proactief maatregelen te nemen om de veiligheid en luchtwaardigheid van het vliegtuig te waarborgen.

1.7. MRO business models

MRO business models kunnen sterk verschillen, afhankelijk van het type bedrijf en de luchtvaartsector. In dit deel worden de zes meest voorkomende MRO-bedrijfsmodellen en faciliteit types opgesomd die je over heel de wereld kunt vinden.

1.7.1. Independent repair stations

Independent repair stations zijn cruciale MRO-faciliteiten. Deze faciliteiten zijn gespecialiseerd in het repareren en onderhouden van vliegtuigonderdelen en -systemen. Ze opereren onafhankelijk van vliegtuigfabrikanten en bieden diensten aan verschillende luchtvaartmaatschappijen en exploitanten.

Independent repair stations zorgen voor naleving van veiligheidsvoorschriften en bieden efficiënte, kosteneffectieve oplossingen om vliegtuigen veilig te houden.

1.7.2. Fixed-base operators

Fixed-base operators (FBO's) zijn een ander belangrijk type organisatie voor MRO in de luchtvaart. *FBO's* zijn verantwoordelijk voor het leveren van een scala aan diensten, waaronder het tanken van vliegtuigen, opslag in hangars, onderhoud en grondafhandeling.

Ze bedienen eigenaren van privévluchtelingen, zakenvluchtelingen en algemene luchtvaartexploitanten, waardoor naadloze operaties op luchthavens worden gegarandeerd.



Figuur 9: *Fixed-base operator*

1.7.3. In-house Corporate Facilities

In-house Corporate Facilities zijn onderhoudsfaciliteiten die worden beheerd door grote bedrijven die hun eigen zakenvluchtelingen bezitten. Deze bedrijven hebben vaak een aanzienlijke vloot van zakenvluchtelingen waarmee ze hun werknemers en leidinggevenden wereldwijd kunnen verplaatsen voor zakelijke doeleinden.

Vanwege de omvang en complexiteit van hun vloot, evenals de behoefte aan snelle en flexibele onderhoudsdiensten, besluiten sommige grote bedrijven om hun eigen MRO-faciliteiten te bezitten en te exploiteren.

1.7.4. Military Facilities

Military Facilities zijn een organisatietype voor MRO in de luchtvaart, gespecialiseerd in onderhoudsfaciliteiten die zich toelagen op services van militaire vluchtelingen. Ze voeren geplande inspecties, routinematig onderhoud en reparaties uit om te voldoen aan strikte militaire normen en voorschriften.



Figuur 10: *Military Facility*

Ze spelen een cruciale rol bij het handhaven van de operationele gereedheid van militaire vluchtelingen, waarbij ze zorgen voor hun veiligheid, betrouwbaarheid en missiesucces. Deze faciliteiten zijn uitgerust om gespecialiseerde militaire vluchtelingen te behandelen, waaronder gevechtsvluchtelingen, helikopters, transportvluchtelingen en onbemande luchtvaartuigen.

1.7.5. Commercial Airline Hubs

Commercial Airline Hubs fungeren als cruciale locaties voor MRO-activiteiten in de luchtvaartindustrie. Om onderhoudsactiviteiten te stroomlijnen, richten luchtvaartmaatschappijen en MRO-organisaties speciale MRO-faciliteiten op bij hun *hub*-luchthavens.

Deze faciliteiten kunnen variëren van eenvoudige *line maintenance*-stations tot uitgebreide onderhoudscentra die in staat zijn complexe revisies aan te pakken.



Figuur 11: *Commercial Airline Hubs* van *British Airways* in *London-Heathrow*, *London-Gatwick* en *New York City*

1.7.6. Regional Airline Facilities

Regional Airline Facilities als MRO in de luchtvaart zijn onderhoudsfaciliteiten die zich toelagen op het onderhouden van regionale vliegtuigen die worden geëxploiteerd door regionale luchtvaartmaatschappijen.

Deze faciliteiten waarborgen de luchtwaardigheid en operationele gereedheid van regionale vliegtuigen, zorgen ervoor dat ze voldoen aan regelgevende vereisten en veilig opereren. Ze bieden ook *line maintenance*-diensten aan, die bestaan uit routinematige inspecties, kleine reparaties en probleemoplossing die worden uitgevoerd met vaste tussenpozen of tussen vluchten door. (Aeroclass, 2023) (FlyAlliance, 2023)

2. Kernbegrippen van artificiële intelligentie

2.1. Definitie en evolutie van AI

2.1.1. Definitie

AI kan worden gedefinieerd als het vermogen van machines om menselijke vaardigheden zoals creativiteit, plannen, denken en leren na te bootsen.

Als gevolg hiervan zijn technische systemen in staat om de omgeving te waarnemen, op deze waarnemingen te reageren en problemen op te lossen om bepaalde doelen te bereiken. De



Figuur 12: Wat is artificiële intelligentie?

computer ontvangt, verwerkt en reageert op gegevens via sensoren zoals camera's.

Bovendien hebben AI-systemen het vermogen om eerdere acties te analyseren om hun gedrag aan te passen. Ze kunnen zelfstandig functioneren.

Kortom, artificiële intelligentie is een veld dat zich concentreert op het creëren van intelligente artefacten. (Europees Parlement, 2021)

2.1.1.1. Belang van artificiële intelligentie

Hoewel sommige AI-technologieën al meer dan vijftig jaar bestaan, hebben de vooruitgang op het gebied van rekenkracht, de beschikbaarheid van grote hoeveelheden gegevens en een verscheidenheid aan nieuwe algoritmen de afgelopen jaren tot aanzienlijke vooruitgang op het gebied van AI geleid. Artificiële intelligentie wordt als essentieel beschouwd voor de digitale transformatie van de samenleving en is ook een prioriteit voor de EU.

Op 21 april 2021 publiceerde de Europese Commissie ook een regelgevingsdocument over de Europese aanpak van artificiële intelligentie. Het document voorziet ook in de oprichting van een Europese Commissie voor Kunstmatige Intelligentie, die verantwoordelijk zal zijn voor de handhaving van de wet en het vaststellen van beste praktijken.

Hoewel toekomstige toepassingen grote veranderingen voorspellen, is AI al aanwezig in het dagelijks leven.

2.1.2. Evolutie en geschiedenis

2.1.2.1. De geboorte van het woord ‘robot’

Het begin rond AI begon in Tsjechië. In het jaar 1920 schreef Karel Čapek het toneelstuk “*Rossum’s Universele Robots*”. Het verhaal dicteert het volgende; in een fabriek worden duizenden robots per dag geproduceerd. Deze robots hebben geen menselijke gevoelens zoals blijdschap, liefde, verdriet en pijn. Uiteindelijk bevolken miljoenen robots de aarde en komen ze in opstand en roeien het menselijk ras uit.

Het komt er eigenlijk op neer dat Karel Čapek de allereerste persoon is die het woord “robot” gebruikte, dit is afgeleid van het Tsjechische woord *robota*. Dit betekent eigenlijk saai werk of bijvoorbeeld zwoegen en dienstbaarheid.

Het verhaal is wel een beetje duister, maar redelijk actueel. Want tot op de dag van vandaag heerst er nog steeds de vrees dat AI en robots een bedreiging kunnen vormen tegen de mensheid.

2.1.2.2. De Turingtest

Dit is opnieuw een toneelstuk dat verdere invloed heeft op de ontwikkeling op vlak van AI. In het jaar 1950 is Alan Turing – een Engelse wiskundige pionier van theoretische informatica en artificiële intelligentie – de eerste die de naam “*artificial intelligence*” vernoemd in zijn bekende artikel “*Computing Machinery and Intelligence*”. De belangrijke vraag die hij stelde was: “Kan een machine daadwerkelijk menselijke intelligentie vertonen?”.

Hij ontwikkelde een soort spel; zowel een machine alsook een normaal persoon communiceren met een tweede persoon, een soort dialoog dus. Als deze tweede persoon niet in staat was om het onderscheid te maken tussen de machine en de persoon, dan is de machine succesvol geslaagd. Dit principe heeft nu een naam, namelijk de ‘*turingtest*’ – vernoemd naar Alan Turing – en dit heeft het onderzoek naar AI aanzienlijk beïnvloed.

2.1.2.3. Allereerste chatbot

In 1956 wordt door vele gezien als de officiële geboorte van AI. Tijdens de *Dartmouth* conferentie, georganiseerd door John McCarthy, werd het officieel veranderd tot een nieuw onderzoeksveld. Vanaf dit moment groeit het aantal onderzoekscentra exponentieel en niet veel later wordt Eliza gelanceerd, de allereerste *chatbot*. Ze konden sommige gebruikers goed voor de gek houden, maar ze slaagt niet voor de *turingtest*.

In de jaren ’70 en ’80 viel de ontwikkeling van AI stil. De computers destijds hadden te weinig rekenkracht om veel data te verwerken met als gevolg dat er geen echte doorbraken meer waren. AI was op dat moment meer een fictie in films en muziek.

2.1.2.4. IBM's Deep Blue

In het jaar 1997 begon er echter een nieuw hoofdstuk. *IBM's Deep Blue* verslaat namelijk wereldkampioen schaken Garri Kasparov als eerste machine ooit. Tussentijds kenden computers een enorme evolutie. Met als resultaat nieuwe technologieën zoals de eerste spraakherkenningssoftware van Google in 2008 en een onderzoek voor zelfrijdende auto's in 2009. Vanaf hier zijn we definitief vertrokken voor een toekomst waarin AI een belangrijke rol speelt. (AI by Example, 2022)

2.1.2.5. En nu?

Nu wordt het gebruik van AI alleen maar groter en groter. Misschien wel ondertussen het bekendste AI-programma, ChatGPT. Deze *chatbot* werd in november 2022 gelanceerd en is ontwikkeld door OpenAI. Hij is ontworpen om gesprekken te voeren met gebruikers op een manier die lijkt op menselijke interactie.

Anderzijds zijn er ook nog andere AI-applicaties waarvan sommige niet beseffen dat ze gestuurd worden door AI, zoals:

- Online winkelen en reclame
- Zoeken op het web
- Digitale persoonlijke assistentie
- Automatische vertalingen
- Slimme huizen, steden en infrastructuur
- Auto's
- Cyberveiligheid
- Artificiële intelligentie tegen COVID-19
- Desinformatie bestrijden
- ...

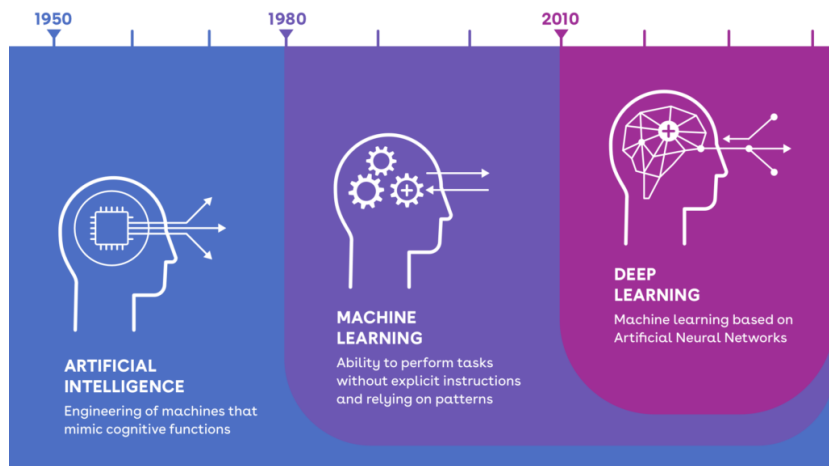
(Europees Parlement, 2021)



Figuur 13: Dagelijks leven en mogelijk gebruik van AI

2.2. Machine learning en deep learning

Machine learning en *deep learning*; dit zijn beide concepten afkomstig van binnenin de artificiële intelligentie, maar wat is nu precies het verschil tussen de twee?



Figuur 14: *Artificial intelligence, machine learning en deep learning*

2.2.1. Machine learning

Zoals reeds gezegd, is *machine learning* –of kortweg ML genoemd – een concept binnen de artificiële intelligentie. Hier gaat het voornamelijk om algoritmen die gegevens analyseren, daarvan leren en vervolgens gefundeerde beslissingen nemen op basis van wat zij hebben geleerd.

Het wordt vrijwel tegenwoordig bijna in elke industrie gebruikt, omdat met behulp van ML taken kunnen worden geautomatiseerd en processen aanzienlijk vereenvoudigd worden. Het kan ondernemingen helpen hun bedrijfsprocessen nog intelligenter in te richten, waardoor beslissingen nauwkeuriger kunnen worden genomen. (Coleman, 2022)

2.2.2. Deep learning

Diep leren, ook wel bekend als *deep learning*, is een onderdeel van *machine learning* dat zich richt op algoritmes die voortdurend leren en zichzelf verbeteren bij elke berekening. In tegenstelling tot *machine learning*, waarbij een programmeur moet ingrijpen om het algoritme aan te passen, bepalen bij diep leren de algoritmes zelf of hun beslissingen juist of fout zijn.

Het maakt gebruik van kunstmatig gegenereerd *neural networks* om patronen te herkennen. De structuur van een *neural network* is te vergelijken met het neurale netwerk in het menselijk brein en bevat dus enorm veel lagen.

Deep learning maakt gebruik van verschillende niveaus in een *neural network*, bestaande uit:

- Ingangslaag; eerste niveau van het *neural network*. Hier worden ruwe gegevens verwerkt, zoals bijvoorbeeld de afzonderlijke pixels van een afbeelding.
- Tussenlaag; de informatie wordt verwerkt en gereduceerd via verschillende verborgen lagen en niveaus.
- Uitgangslaag; eindresultaat komt vervolgens in deze laag terecht.

2.2.3. Wat is nu het verschil?

Dus een kleine terugblik; *deep learning* is een subset van *machine learning*, maar het gaat ook een stap verder dan *machine learning*. Bij beide AI-functies worden de algoritmen bij elke berekening slimmer en slimmer. In tegenstelling tot *machine learning* zijn de algoritmen bij *deep learning* echter ook in staat om zelf verbetering aan te brengen.

(Redactie Nederlands (Freshworks blog), 2021)

2.3. Beeldherkenning en computer vision

Computer vision alsook beeldherkenning zijn op dit moment twee populaire woorden die zich bevinden in het domein rond AI. Beide termen omvatten het werken met het identificeren van visuele kenmerken, en daarom worden de termen vaak door mekaar gebruikt. Er zijn zeker overeenkomsten, maar *computer vision* en beeldherkenning vertegenwoordigen beide verschillende technologieën, concepten en toepassingen. (Vienažindytė, 2022)



Figuur 15: Wat doet AI voor beeldherkenning en *computer vision*?

2.3.1. Beeldherkenning

Beeldherkenning – vertaald heet het *Image Recognition (IR)* – is een techniek die gebruikmaakt van artificiële intelligentie om mensen, objecten, plaatsen en teksten in afbeeldingen te identificeren. Het cruciale doel van beeldherkenning is om afbeeldingen te classificeren op vlak van op voorhand gedefinieerde labels en categorieën na analyse en interpretatie van de visuele inhoud met behulp van AI, *machine learning* en *neural networks* om nuttige informatie te leren.

2.3.1.1. Werking van beeldherkenning

Er wordt een algoritme aangemaakt voor beeldherkenning over het algemeen gebruik van *machine learning* en *deep learning*-modellen om objecten te identificeren door elke afzonderlijke pixel in een afbeelding te analyseren. Het algoritme ontvangt veel mogelijke gelabelde afbeeldingen toegevoerd in een poging het model te trainen om de objecten in de afbeelding te herkennen.

Het proces bevat (in het algemeen) de volgende drie stappen:

- Verzamelen van gegevens

Dit is de eerste stap. Er wordt een dataset van afbeeldingen verzameld en gelabeld. Bijvoorbeeld een afbeelding met daarin een voetbal worden gelabeld als “voetbal”. Hoe groter de dataset, hoe beter de resultaten.

Kernbegrippen van artificiële intelligentie

- Trainen van de *neural networks* op de dataset

Na het labelen, worden ze naar de *neural networks* gebracht om op de afbeeldingen te trainen. Ontwikkelaars gebruiken het liefs CNN (*Convolutional Neural Networks*) voor beeldherkenning omdat CNN-modellen functies kunnen herkennen zonder extra menselijke hulp.

- Testen en voorspellen

Na de training, krijgt het een soort testdataset die ongeziene afbeeldingen heeft om de resultaten te verifiëren. Het model zal de dingen die hij geleerd heeft uit de testdataset gebruiken om objecten of patronen in de afbeelding te voorspellen en het object proberen te herkennen.

2.3.1.2. Het gebruik van beeldherkenning in het dagelijks leven

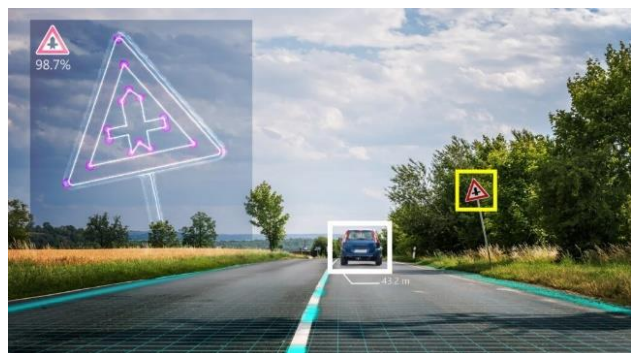
Een opsomming van hoe en waar beeldherkenning wordt toegepast:

- Zelfrijdende auto's; om hun omgeving te analyseren zoals verkeersborden, markering, andere voertuigen, enzovoort. Tesla is een goed voorbeeld hiervan.
- Identificatie van ongepaste inhoud; websites of organisaties gebruiken het om automatisch inhoud te filteren die niet gepast is.
- ID-controle; gezichtsherkenning alsook biometrische identificatietechnieken helpen hierbij. Een perfect voorbeeld hiervan is de functie Face-ID van iPhone.
- *Optical Character Recognition* (OCR); dit is een scanner die tekens in een beeld kan herkennen en hierna omzet naar een tekstbestand.
- Beeldherkenning op uw mobiele telefoon; Google Lens is een goed voorbeeld van een beeldherkenningsapplicatie die in staat is om dieren, planten en andere alledaagse objecten te identificeren.

(Vienažindytė, 2022) (Pegamento)

2.3.2. Computer vision

Computer vision is dus ook een aftakking van AI. Hiermee kunnen computers patronen of objecten in digitale media's – dus afbeeldingen en video's – identificeren of herkennen. Het cruciale doel van *computer vision* gaat verder dan alleen het detecteren van een object in een afbeelding, het communiceert en reageert ook op de objecten. Je kunt zien dat er niet veel of zelfs nauwelijks een verschil is met beeldherkenning, maar toch zijn ze anders.



Figuur 16: Voorbeeld van *computer vision* in werking

2.3.2.1. Werking van computer vision

Het algoritme werkt op een vergelijkbare manier als beeldherkenning, maar er zijn toch enkele verschillen in de werking herkenbaar.

Het proces bevat (in het algemeen) de volgende drie stappen:

- Data verzamelen en voorbereiding
Net zoals bij beeldherkenning is de eerste stap het verzamelen van voldoende data zoals afbeeldingen, video's, livestreams of GIF's. De data worden vervolgens voorbereid om eventuele ruis of ongewenste objecten te verwijderen.
- Functie extractie
De training wordt vervolgens ingevoerd in het *computer vision*-model om relevante kenmerken uit de data te achterhalen. Het model detecteert eerst de objecten binnen de gegevens en classificeert ze vervolgens aan de hand van vooraf gedefinieerde labels.
- Betekenisvolle segmentaties en analyse
Het beeld is dan gesegmenteerd – het opdelen van data, op basis van verschillende kenmerken, in verschillende categorieën – in verschillende delen door betekenisvolle labels toe te voegen aan elke individuele pixel. De data wordt dan geanalyseerd en verwerkt volgens de vereisten van de taak.

2.3.2.2. Het gebruik van computer vision in de maakindustrie

Een opsomming van hoe en waar *computer vision* wordt toegepast, dit wordt ook wel *machine vision* genoemd:

- Verzamelen van producten en onderdelen; bijvoorbeeld de kwaliteitsstandaard van bedrijven in de industrie alsook de producten die van de loopband gaan controleren.
- Farmaceutische industrie; zorgt er bijvoorbeeld voor dat elke verpakking dezelfde hoeveelheid pillen heeft en dat ze ook nog goed zijn.
- Predictief, correctief of preventief onderhoud; machines die onderhoud nodig hebben en dit kan bepaald worden met behulp van *computer vision*.

2.3.3. Wat is nu concreet het verschil?

Er zijn zoveel overeenkomsten tussen beeldherkenning en *computer vision*, dus er mag gerust gezegd worden dat beeldherkenning een soort subset is van *computer vision*. Het blijft nochtans wel belangrijk om te weten dat beide gebieden afhankelijk zijn van *machine learning*-technieken.

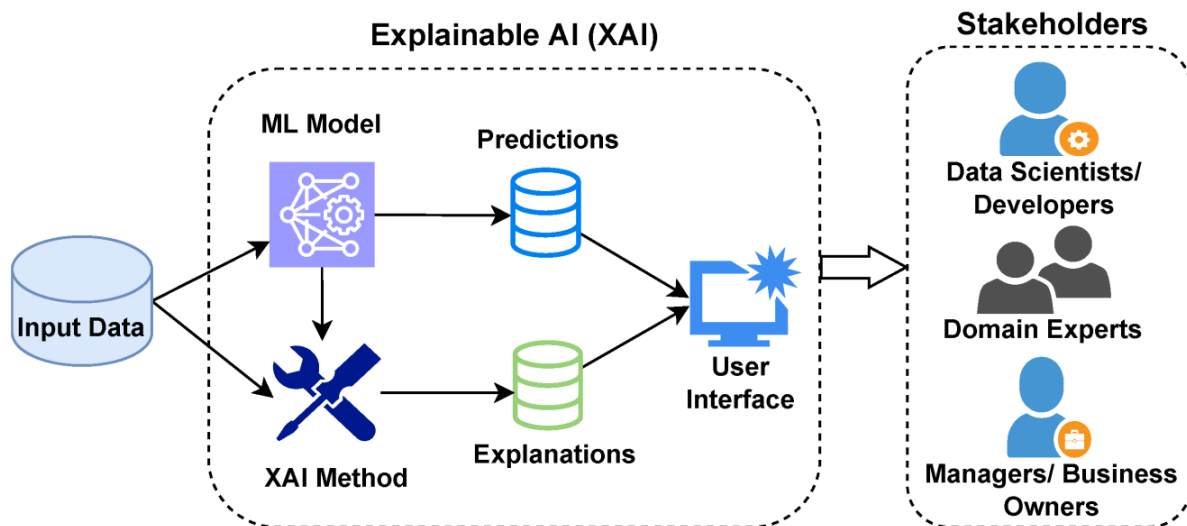
In essentie wordt beeldherkenning gebruikt om objecten binnen een afbeelding te identificeren en te detecteren, terwijl *computer vision* een bredere aanpak inneemt. Met beeldherkenning interpreteert het systeem visuele gegevens binnen het frame.

(Trendskout) (Kejiriwal, 2023)

2.4. Explainable AI

Explainable Artificial Intelligence (XAI) wordt gebruikt om een AI-model te beschrijven, zijn verwachte impact en potentiële vooroordelen. Het helpt om de nauwkeurigheid, rechtvaardigheid, transparantie en resultaten van AI-gestuurde besluitvorming te karakteriseren. *Explainable AI* is cruciaal voor een organisatie bij het opbouwen van vertrouwen en zelfverzekerdheid bij het in gebruik nemen van AI-modellen. AI-verklaarbaarheid helpt ook een organisatie bij het aannemen van een verantwoorde benadering van AI-ontwikkeling.

Naarmate AI geavanceerder wordt, worden mensen uitgedaagd om te begrijpen en terug te traceren hoe het algoritme tot een resultaat is gekomen. Het hele berekeningsproces wordt omgezet in wat vaak wordt aangeduid als een "black box" die onmogelijk te interpreteren is. Deze *black box*-modellen worden rechtstreeks uit de gegevens gecreëerd. Zelfs de ingenieurs of datawetenschappers die het algoritme creëren, kunnen niet begrijpen of uitleggen wat er precies binnenin gebeurt of hoe het AI-algoritme tot een specifiek resultaat is gekomen. (European Data Protection Supervisor, 2023)



Figuur 17: XAI helpt menselijke gebruikers de redenering achter AI- en *machine learning*-algoritmen te begrijpen om hun vertrouwen te vergroten.

2.4.1. De werking van XAI

De opstelling van XAI-technieken bestaat uit drie hoofdmethoden. Voorspellingsnauwkeurigheid en traceerbaarheid richten zich op technologische vereisten, terwijl begrip van beslissingen menselijke behoeften adresseert. Verklaarbare AI - vooral verklaarbaar *machine learning* - zal essentieel zijn als toekomstige strijders in staat moeten zijn om een opkomende generatie van kunstmatig intelligente machinepartners te begrijpen, erop te vertrouwen en effectief te beheren.

Kernbegrippen van artificiële intelligentie

- Voorspellingsnauwkeurigheid:

Nauwkeurigheid is een sleutelcomponent voor het succes van het gebruik van AI in de dagelijkse operatie. Door simulaties uit te voeren en XAI-uitvoer te vergelijken met de resultaten in de trainingsdataset, kan de voorspellingsnauwkeurigheid worden bepaald.

De meest populaire techniek die hiervoor wordt gebruikt, is *Local Interpretable Model-Agnostic Explanations* (LIME), die de voorspelling van classificatoren door het ML-algoritme uitlegt.

- Traceerbaarheid:

Traceerbaarheid is een andere sleuteltechniek voor het bereiken van XAI. Dit wordt bijvoorbeeld bereikt door de manier waarop beslissingen kunnen worden genomen te beperken en een nauwere scope in te stellen voor ML-regels en kenmerken.

Een voorbeeld van een traceerbaarheids-XAI-techniek is *DeepLIFT (Deep Learning Important FeaTures)*, die de activatie van elke neuron vergelijkt met zijn referentieneuron en een traceerbare link laat zien tussen elke geactiveerde neuron en zelfs afhankelijkheden tussen hen laat zien.

- Beslissingsbegrip:

Dit is de menselijke factor. Veel mensen hebben wantrouwen tegenover AI, maar om er efficiënt mee te kunnen werken, moeten ze leren erop te vertrouwen. Dit wordt bereikt door het team dat met de AI werkt op te leiden, zodat ze kunnen begrijpen hoe en waarom de AI beslissingen neemt.

2.4.2. Voordelen van XAI

- Operationeel maken van AI met vertrouwen en zelfverzekerdheid:

Bouw vertrouwen in productie-AI. Breng uw AI-modellen snel naar productie. Zorg voor interpreteerbaarheid en verklaarbaarheid van AI-modellen. Vereenvoudig het proces van model evaluatie terwijl u de transparantie en traceerbaarheid van het model vergroot.

- Versnel de tijd naar AI-resultaten:

Monitor en beheer systematisch modellen om zakelijke resultaten te optimaliseren. Evalueer voortdurend en verbeter de prestaties van het model. Stem modelontwikkeling af op basis van voortdurende evaluatie.

- Beperk het risico en de kosten van *model governance*:

Houd uw AI-modellen verklaarbaar en transparant. Beheer regelgevende, nalevings-, risico- en andere vereisten. Verminder de tijd en moeite die nodig zijn voor handmatige inspecties en kostbare fouten. Beperk het risico op onbedoelde vooringenomenheid.

2.4.3. Enkele toepassingen van XAI

- Gezondheidszorg:
Versnel onderzoek, beeldanalyse, optimalisatie van middelen en medische diagnose. Verbeter de transparantie en traceerbaarheid in besluitvorming voor patiëntenzorg. Stroomlijn het goedkeuringsproces voor geneesmiddelproducten met verklaarbare AI.
- Financiële dienstverlening:
Verbeter de klantervaringen met een transparant proces voor lening- en kredietgoedkeuring. Versnel kredietrisico, vermogensbeheer en beoordelingen van financiële criminaliteitsrisico's. Versnel de afhandeling van potentiële klachten en problemen. Vergroot het vertrouwen in prijsstelling, productaanbevelingen en beleggingsdiensten.
- Strafrecht:
Optimaliseer processen voor voorspelling en risicobeoordeling. Versnel resoluties met behulp van verklaarbare AI bij DNA-analyse, analyse van de gevangenispopulatie en misdaadprognoses. Detecteer mogelijke vooroordelen in trainingsgegevens en algoritmen.
(IBM)

2.5. Natuurlijke taalverwerking

Natural Language Processing, soms afgekort als NLP, is eveneens een tak van artificiële intelligentie. Het is een manier waarmee computers natuurlijke, menselijke taal analyseren, begrijpen en soms zelfs genereren. Het doel is om interacties tussen computers en natuurlijke, menselijke talen zo soepel mogelijk te maken.

Anders gezegd, NLP helpt machines om menselijke taal te 'lezen', 'horen', te interpreteren, te meten en zo goed mogelijk en logisch te reageren. De computers moeten ervaren zijn in grammatica, woordbetekenis, tijd en conversatie – respectievelijk syntaxis, semantiek, morfologie en pragmatiek – en deze snappen. Dit is redelijk complex gebleken.

Het lijkt dus alsof je computer een les menselijke communicatie heeft gevolgd en nu probeert mee te doen aan het gesprek.

2.5.1.1. Van data voorbereiding tot output generatie

De werking van NLP kan je opsplitsen in vijf verschillende stappen en het maakt gebruik van verschillende methoden uit AI.

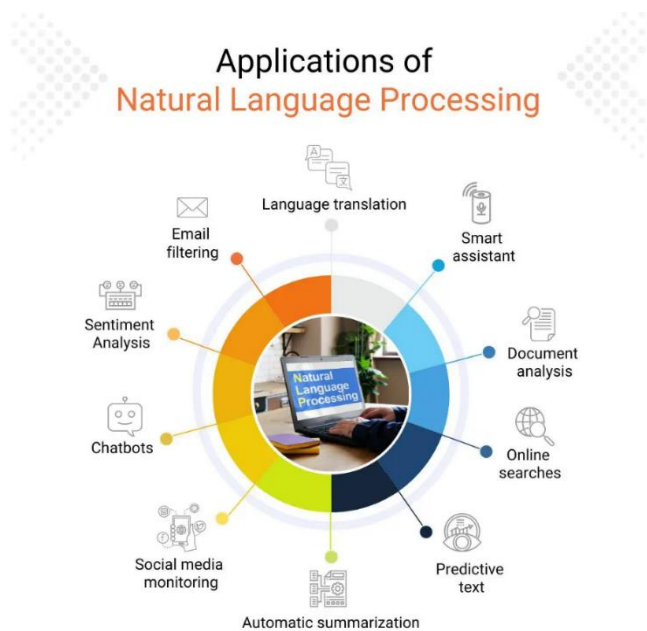
- Data voorbereiding:
Ruwe tekst wordt eerst voorbereid met behulp van verschillende preprocessingstappen, waaronder opsplitsing, stemming en terugbrengen naar de stamvorm, woordsoortherkenning, entiteitsherkenning en zinstructuuranalyse.

Kernbegrippen van artificiële intelligentie

- Begrip en analyse:
Nu volgt er een diepere analyse. Er zal ontleed worden als ook een betekenisanalyse toegepast worden op de tekst.
- Integratie van context:
Voor complexere begrip is de context van essentiële waarde. Verwijzingsherkenning, gevoelsanalyse en betekenisverduidelijking zal hier vervolgens worden toegepast.
- Machine learning:
Moderne NLP-systemen maken gebruik van *machine learning*, en dat wordt vaker *deep learning* modellen, om patronen te herkennen.
- Output generatie:
Soms moet de NLP niet enkel begrijpen, maar ook de taal genereren en dat doet het door tekstgeneratie, machinevertaling en tenslotte een samenvatting te produceren.

2.5.1.2. Enkele toepassingen van NLP

- Spraakherkenningssystemen; bijvoorbeeld digitale assistenten die ingesproken commando's herkennen en hierop actie ondernemen.
- Tekstanalyse; zoals systemen die sociale media berichten scannen om de publieke mening over een bepaald onderwerp te peilen.
- Chatbots en virtuele assistenten; een perfect voorbeeld hiervan is ChatGPT of Siri van de iPhone-serie. Ze begrijpen wat gebruikers zeggen of typen en kunnen antwoorden in natuurlijke taal.
- Automatische vertaaldiensten; ze vertalen geschreven tekst of gesproken woorden op het moment zelf.
- Spamfilters; ze filteren ongewenste e-mails op basis van de inhoud van het bericht.



Figuur 18: Toepassingen van natuurlijke taalverwerking

(WorkingTalent) (Van Veen)

2.6. Robotica

Het cruciale doel van AI in robotica is eigenlijk beter omgaan met variabiliteit en onvoorspelbaarheid in de externe omgeving. Dit kan in real-time, alsook offline zijn. Het is wel belangrijk om te weten dat AI niet per se nodig is om sommige taken uit te voeren, maar het kan wel gewoon prestatievoordelen opleveren en specifieke functionaliteit.

In de echte wereld worden bij robottoepassingen AI-algoritmen gecombineerd met niet-AI-softwareprogramma's en hardware zoals sensoren en camera's om de taak uit te voeren. AI is dus nooit meer dan één component van een robottoepassing.

AI wordt het meest toegepast in robotica bij commercieel gebruik en wordt onderscheiden in *sense-and-respond* toepassingen en prestatieoptimalisatie.



Figuur 19: Robotica vindt zijn weg in de luchtvaartindustrie

2.6.1. Detecteren en reageren

Deze toepassingen omvatten het real-time identificeren van de externe omgeving door een robot en het reageren daarop om een specifieke taak uit te voeren. "Detecteren" vereist sensoren zoals camera's voor lokalisatie en objectherkenning, vaak ondersteund door *machine learning* algoritmen.

"Reageren" omvat doorgaans besluitvormingsalgoritmen voor taken zoals grijpen en verplaatsen van objecten. AI wordt vooral nuttig bij het omgaan met variabele inputgegevens, en algoritmen kunnen worden uitgevoerd op de robot zelf of op een hoger besturingssysteem, afhankelijk van de complexiteit van de taak. In situaties waar meerdere robots betrokken zijn, wordt AI gebruikt in het besturingssysteem voor coördinatie.

2.6.2. Pick-and-place

Bij *pick-and-place*-toepassingen haalt een robot objecten op van de ene locatie en plaatst ze op een andere. Dit kan worden gedaan met traditionele, deterministische programmering voor consistente taken, zoals het oppakken van objecten van een transportband.

Voor meer variabele taken, zoals het verzamelen van ongesorteerde onderdelen uit bakken, wordt machinaal leren gebruikt, zoals bij het *ActivNav*-systeem van *Universal Robots*. Dit systeem identificeert onderdelen aan de hand van een *CAD-model*, bepaalt grijppunten en plant de route van de robotarm. AI wordt steeds belangrijker, vooral bij het hanteren van variabele omgevingen en objecten, zoals transparante of platte voorwerpen. Leveranciers van AI-software en -systemen werken aan efficiëntere algoritmen, zoals semi-gesuperviseerd leren, om de trainingstijd te verkorten.

Het uiteindelijke doel is om algoritmen snel te laten generaliseren naar nieuwe objecten en omgevingen. Hoewel pickingtechnologie snel vooruitgang boekt, is het nog steeds uitdagend voor robots om niet-stijve objecten nauwkeurig en snel te hanteren, maar verbeteringen worden verwacht in de komende jaren.

Enkele toepassingen die gebruik maken van AI in de robotica maken gebruik van enkele elementen die net beschreven waren en ze zijn aangepaste aan hun specifieke toepassingseisen.

- Pelletiseren, de-pelletiseren en verpakken
- Machinebesturing
- Lassen
- Deconstructies
- Recycling
- ...

(Industrie Vandaag)



Figuur 20: Voorbeeld van een *pick-and-place* robot die een flesje vastneemt

3. Toepassingen en integratie van artificiële intelligentie in vliegtuigonderhoud

In het volgende hoofdstuk, “Toepassingen en integratie van artificiële intelligentie in vliegtuigonderhoud”, wordt AI's opkomst in de luchtvaartindustrie onderzocht, met name gericht op productie, onderhoud en logistiek van componenten. In de steeds groter wordende hoeveelheid data die de digitalisering met zich meebrengt, speelt AI een onvervangbare rol. Onderhoud kan nieuwe mogelijkheden bieden met betrekking tot het voorspellen van storingen en het ondernemen van preventieve acties.



Figuur 21: AI in vliegtuigonderhoud: Hoe het de industrie verandert

AI drijft predictief onderhoud al aan: Airbus neemt al AI-oplossingen zoals Aircraft Maintenance Analysis om de betrouwbaarheid van vliegtuigen te vergroten. Het potentieel van AI-technologieën om de vliegtuigbeschikbaarheid te verhogen en de efficiëntie van de luchtvaartindustrie zal dit jaar dus nog verder toenemen.

3.1. Voordelen

Artificiële intelligentie heeft het potentieel om een revolutie teweeg te brengen in de manier waarop we vliegtuigen onderhouden. Door AI toe te passen, kunnen we de praktijk verbeteren, kosten verlagen en de veiligheid verhogen. Laten we daarom de rol van AI in het luchtvaartonderhoud onderzoeken en de mogelijke positieve impact ervan op de toekomst van vliegbezoeken bespreken, als aanvulling op de eerder besproken technologische ontwikkelingen.

3.1.1. Veiligheid verbeteren en downtime verminderen

Artificiële intelligentie in de luchtvaartindustrie is een essentieel instrument geworden voor het voorspellen van storingen en het voorkomen van ongepland onderhoud. Door real-time gegevens van vliegtuigsystemen te analyseren, kan AI potentiële problemen identificeren voordat ze veiligheidsrisico's worden. Dit vermindert de kans op uitval en vertragingen aanzienlijk. Predictief onderhoud, aangedreven door AI, helpt onderhoudsteams om problemen te detecteren en aan te pakken voordat ze kritiek worden, waardoor de veiligheid wordt verbeterd en de uitvaltijd van vliegtuigen wordt geminimaliseerd.

3.1.2. Kosten

Met de hulp van AI kunnen luchtvaartmaatschappijen onderhoudskosten aanzienlijk verlagen. Hoe? AI-algoritmen kunnen gebruik maken van historische gegevens en patronen om te voorspellen wanneer onderhoud nodig zal zijn. Dit betekent dat voorraadniveaus nauwkeurig kunnen worden beheerd, wat resulteert in minder kosten voor reserveonderdelen. Bovendien, door ervoor te zorgen dat belangrijke onderdelen beschikbaar zijn wanneer nodig, blijft de vloot in topconditie.

3.1.3. Verbeterd beheer van het vliegtuig

De mecaniciens kunnen real time operationele gegevens verzamelen voor het onderhoud van vliegtuigen, zodat hun eigen vliegtuigen in betere staat kunnen worden gehouden en de vloot als geheel minder snel uit de roulatie genomen hoeft te worden. Minder grondig geïnspecteerde automatische visuele inspecties kunnen veel sneller en vaker worden uitgevoerd met *computer vision*-technologie, wat de nauwkeurigheid en snelheid ten goede zal komen. Als zodanig kunnen vliegtuigen efficiënter worden beheerd met een verminderde incidentie van vluchten geannuleerd of omgeleid vanwege onderhoudsproblemen.

3.1.4. Besluitvorming en werkdruk optimalisatie

AI stelt de mecaniciens in staat om onderhoudsproblemen te voorspellen en te voorkomen, voordat ze escaleren tot onbeheersbare situaties of leiden tot beneden tijd. Het team voor onderhoud kan worden gewaarschuwd voor dreigende problemen met real-time datawaarschuwingen, dit volume betekent dat teamleden binnen korte tijd beslissen en reparatieplannen kunnen opstellen, waardoor hun last enorm wordt verminderd.

3.1.5. Diepgaande analyse en rapportage

Machine learning maakt continue monitoring en analyse van vliegtuigsystemen mogelijk, waaruit gedetailleerde inzichten kunnen worden verkregen voor een veilige, werkende luchtvaartindustrie. AI-samenwerkingsverbanden zullen ongetwijfeld nuttig zijn voor het nemen van onderhoudsbeslissingen door beheerders met alle beschikbare informatie, inclusief *machine learning* en data-analysetechnieken, en bijgevolg zullen onderhoudsdoelstellingen worden verbeterd.

3.2. Toepassingen en integratie

3.2.1. Onderhoudsschema's en documentatie

Het precies bijhouden van onderhouds- en documentatieschema's is essentieel voor de veiligheid en betrouwbaarheid van vliegtuigen. AI zal hierin een rol spelen door automatisering van inspectieherinneringen en audits, gemakkelijke beheer van onderhoudsgegevens en verbetering van de nauwkeurigheid van documenterend intentieprocessen.



Figuur 22: Testen van een AI-gedreven vliegtuigonderhoudsschema

AI zal het mogelijk maken dat onderhoudsplanningssystemen zoals het periodiek systeem, fasesysteem en het evolutieve systeem kunnen worden geoptimaliseerd met real-time gegevens en analyse. AI zal het monitoring en voorspelling van conditie en daarmee de invoering van conditie-gebaseerd onderhoudsprobleem aanzienlijk verbeteren. Het ASIP zal ook profiteren van AI omdat geavanceerde analyses structurele zwakke punten en problemen identificeren die volgens de huidige methoden onopgemerkt zouden blijven.

3.2.1.1. Knowledge-Based Systems

Knowledge-Based Systems (KBS) zijn ontworpen om menselijke specialistenkennis vast te leggen en te benutten door besluitvorming te ondersteunen. Systemen omvatten een kennisbank, een motor, een interface en een gebruikersinterface. Ze worden vaak gebruikt in tal van gebieden, van diagnose oplossing en personeelsmanagement tot planning en anderen.

3.2.1.1.1. Geautomatiseerde planningen voor vliegtuigonderhoud

In de automatisering maakt een geautomatiseerde planning van vliegtuigonderhoud gebruik van een reeks geavanceerde technologieën en AI-algoritmen om onderhoudsplanung en *-scheduling* te rationaliseren. Deze implementaties helpen luchtvaartmaatschappijen hun eigen operationele efficiëntie te maximaliseren, kosten te verlagen en de algehele betrouwbaarheid van hun vliegtuig te vergroten.

3.2.1.2. Case-Based Reasoning

Een vorm van KBS is *Case-Based Reasoning* (CBR) dat, door te leren van eerdere situaties, nieuwe problemen kan oplossen. Het wordt vaak gebruikt in vliegtuigonderhoud om een diagnostisch proces en besluitvorming uit te voeren. Het draagt bij aan de hoge efficiëntie en effectiviteit van een onderhoudsploeg, evenals aan de mogelijkheid om problemen op te lossen voorafgaand aan hun optreden.

3.2.2. Autonome monitoring van prestaties

Het monitoren van vliegtuigprestaties is van cruciaal belang om mechanische problemen onder controle te krijgen en ongeplande storingen te voorkomen. Ondersteund door AI monitort autonome bewaking continu de prestatiegegevens om mogelijke problemen te identificeren. Het systeem verzamelt gegevens die worden verwerkt door de *Central Maintenance Computer* en verifieert de actuele informatie door het *dataloading*-systeem. Het *Electronic Library System* helpt technici bij het analyseren van snelle specifieke informatie wanneer onderhoud nodig is. Met behulp van *Structure Monitoring*-sensoren wordt de toestand van de component bewaakt.

Ondersteund door AI kunnen analyses efficiënter worden uitgevoerd; in geval van probleem duidt het onderhoudsteam de mogelijkheid sneller aan. Op deze manier zorgt het voor de prestaties en de veiligheid van het vliegtuig.

3.2.3. Predictief onderhoud

Predictief onderhoud maakt het mogelijk AI te gebruiken om mogelijke mechanische storingen vooraf te voorspellen; hierdoor kunnen onderhoudsteams van tevoren actie ondernemen om dure reparaties te voorkomen. Slimme sensoren en gegevensanalyse houden het vliegend en veilig, terwijl het onderhoud en de downtime worden geminimaliseerd.

3.2.3.1. Invloed op MRO business models

De toepassing van AI-gedreven algoritmen in ondersteuning van predictief onderhoud impliceert de volgende invloed factoren op verschillende *MRO business models*:

- *Independent repair stations*:

Voor dergelijke faciliteiten is het relevanter om gebruik te maken van predictief onderhoud omdat ze profiteren van proactieve identificatie van mogelijke mechanische storingen bij de onderdelen en systemen van vliegtuigen die ze onderhouden. Bijvoorbeeld kunnen ze AI-gestuurde predictie-algoritmen gebruiken om hun onderhoudsplanning, waardoor hun ongeplande uitval en ongeplande afvlakking verbeteren.

- Fixed-base operators (FBO's):

Dit geldt ook voor *FBO's* waar dit soort onderhoud de preventie van toekomstige onderhoudsbehoeften van de vliegtuigen die ze bedienen voordeliger maakt. Hun gebruik van AI om sensorgegevens van de vliegtuigen te analyseren, stelt hen in staat om preventief onderhoud te plegen en hun operationele betrouwbaarheid en neerwaartse ongeplande downtime te verminderen.

- In-house Corporate Facilities:

In-house Corporate Facilities kunnen AI-gestuurde predictieve onderhoudsoplossingen integreren in hun bestaande onderhoudsproces. Dit stelt hen in staat om de gezondheid van hun vloot vliegtuigen beter te volgen en te beheren en onderhoudsactiviteiten te optimaliseren en operationele kosten te verlagen.

- Military Facilities:

Military Facilities kunnen gebruik maken van predictief onderhoud met AI om de gezondheid van militaire toestellen te behouden en onderhoud te verbeteren. Geavanceerde algoritmen zouden worden gebruikt om apparatuur en systemen te identificeren. Resultaat: verbeterde veiligheid en effectiviteit van operaties.

- Commercial Airline Hubs:

Commercial Airline Hubs kunnen AI-gestuurde predictieve onderhoudsoplossingen integreren om de betrouwbaarheid van hun vliegtuigen te verbeteren en ongeplande uitval te verlagen.

Door voorspellende analyses te gebruiken, kunnen ze onderhoudsprocedures realistisch inzetten om hulpbronnen te realiseren, wat verbeterde ondersteuning en lagere operationele kosten zal betekenen.

- Regional Airline Facilities:

Regional Airline Facilities kunnen het voltijd gebruiken van AI voor predictief onderhoud om de luchtwaardigheid van regionale vliegtuigen te behouden. De gegevens kunnen beschikbaar worden gesteld door slimme sensoren te gebruiken en gegevensanalyses realiseren en maken het mogelijk om onderhoudsvereisten te maken en plannen op basis van real-time eisen en wensen.

3.2.3.2. Digital Twins

Een ander concept dat steeds vaker bij predictief onderhoud wordt toegepast is het gebruik van *Digital Twins*. *Digital Twins* zijn virtuele replica's van fysieke assets die worden gecreëerd om het gedrag ervan in real-time te monitoren en te simuleren. Door AI-algoritmen te integreren met *Digital Twins*, kunnen onderhoudsprofessionals het gedrag van apparatuur voorspellen, afwijkingen detecteren en onderhoudsacties nemen om uitval te voorkomen en de prestaties van assets te verbeteren



Figuur 23: *Digital Twins* bij vliegtuigonderhoud

3.2.3.3. XAI in vliegtuigonderhoud

Het gebruik van XAI-technieken kan de interpretatie van predictieve onderhoudsmodellen verbeteren, waardoor onderhoudspersoneel de redenering achter door AI gestuurde voorspellingen kunnen begrijpen en geïnformeerde beslissingen kunnen nemen op basis van de gegenereerde inzichten.

3.2.4. AI-aangedreven visuele inspecties

AI-aangedreven visuele inspecties maken gebruik van geavanceerde *computer vision*-algoritmen om vliegtuigen snel te scannen op onderhoudsproblemen. Het snel en accuraat identificeren van defecten stelt vliegtuigonderhoudsteams in staat om efficiënter te werken en de veiligheid van vliegtuigen te garanderen.

3.2.4.1. Beeldherkenning en computer vision voor inspectie en detectie van defecten

Het gebruik van beeldherkenning en *computer vision* in vliegtuigonderhoud neemt toe vanwege het verbeterde inspectie- en defectdetectieproces. Dankzij geavanceerde technologieën zoals *CNN's*, *deep learning* en *machine learning* kunnen deze systemen defecten automatisch identificeren en inspecties accuraat maken.

Computervisie wordt gebruikt om vliegtuigonderhoudsteams in staat te stellen defecten op alle vliegtuigoppervlakken te detecteren, bijvoorbeeld op metalen oppervlakken, bouwconstructies, en vliegtuigexterieurs. Ze helpen de tekortkomingen van menselijke inspecties te elimineren of beperken ze tot een minimum. Het is wel belangrijk om te weten dat de werking van AI afhankelijk blijft van de kwaliteit van de input en hoe het is ingesteld.



Figuur 24: Het gebruik van *computer vision* in de luchtvaart

3.2.4.2. Drones in inspectie- en onderhoudstaken

De integratie van drones met geavanceerde technologieën, actieve thermografie en *neural networks* heeft veel potentieel in het transformeren van vliegtuigonderhoudstaken. Door drones te gebruiken tijdens inspectie, kunnen de routines van het vliegtuigonderhoud nauwkeuriger en efficiënter gebeuren, wat meer kosteneffectief is.

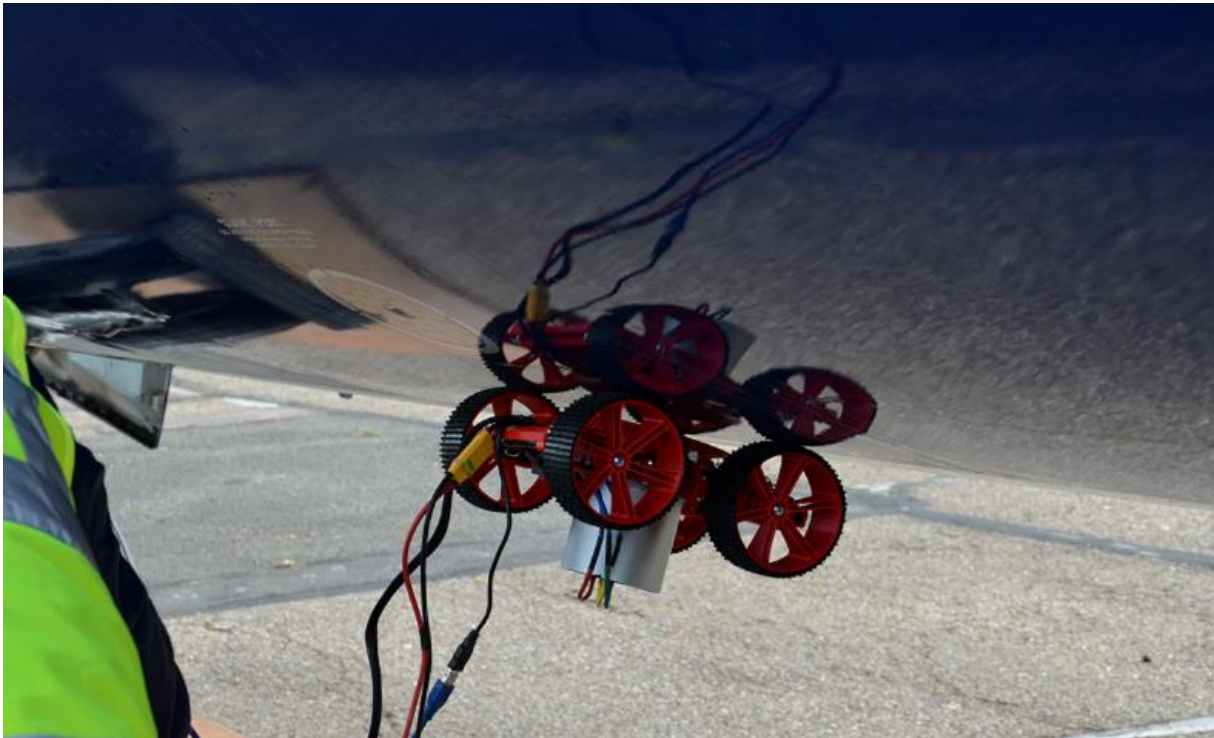
Bovendien kunnen drones gebruikt worden visuele inspecties ondersteund huis inspectie, zoals *CNN's*, waardoor de leden van het vliegtuigonderhoudsteam snel en accuraat onvolkomenheden kunnen identificeren en evalueren.



Figuur 25: Test van een drone die gebruik wordt bij vliegtuigonderhoud

3.2.4.3. Robots bij inspectie- en onderhoudstaken

De robotoplossing verbetert de nauwkeurigheid en snelheid van defectdetectie tijdens pre-flight checks en onderhoudsprocessen op vliegtuigonderdelen, zoals vleugels en onderstellen. Daarom versnellen deze technologieën de snelheid van inspecties en minimaliseren ze het risico van gemiste defecten: AI-gedreven robots kunnen een groter oppervlak in een kortere tijd scannen en geavanceerde beeldverwerkingsalgoritmen kunnen zelfs de kleinste defecten identificeren. Alle kritieke onderdelen van het vliegtuig worden volledig geïnspecteerd, en automatisering vermindert het risico op fouten.



Figuur 26: Robot dat aan het vliegtuig kan plakken en structurele inspecties uitvoert

3.3. Risico's en uitdagingen

Zoals uit de bovenstaande bespreking blijkt, zijn er aanzienlijke voordelen van AI in vliegtuigonderhoud die aandacht vereisen. Er zijn echter ook risico's die de implementatie van deze technologische technieken in het veld met zich meebrengen.

3.3.1. Betrouwbaarheid en nauwkeurigheid

Zonder nauwkeurige systemen met een hoog betrouwbaarheidselement kan slechts één fout leiden tot grote gevolgen in de luchtvaartsector. Om die reden zou de AI-engine grondig getest en gevalideerd moeten worden voordat hij bestemd is voor operationele doeleinden.

3.3.2. Datakwaliteit en -integriteit

Ten tweede zijn AI-systemen zo goed als de gegevens die ze gebruiken om te trainen of te analyseren. Gegevens van slechte kwaliteit leiden tot onjuiste conclusies of voorspellingen. Gegevens die worden gebruikt in het AI-proces voor vliegtuigonderhoud, moeten betrouwbaar en actueel zijn en de operationele omgeving zo nauwkeurig mogelijk vertegenwoordigen.

3.3.3. Cybersecurity en privacy

Door AI en andere gegevensbronnen te integreren in vliegtuigonderhoud, worden ook nieuwe cybersecurity- en privacy uitdagingen een groeiend probleem. Het is cruciaal voor het succes en de veiligheid van de luchtvaartindustrie om ervoor te zorgen dat AI-systemen bestand zijn tegen aanvallen en dat gevoelige gegevens die worden gebruikt door of gegenereerd uit deze systemen veilig worden opgeslagen en beschermd.

3.3.4. Afhandeling van uitzonderingen en onverwachte situaties

AI-systemen kunnen over het algemeen omgaan met voorspelbare en gestructureerde gegevens, maar ze kunnen niet omgaan met onverwachte situaties. Bij vliegtuigonderhoud kunnen onverwachte technische problemen of operationele uitdagingen vormen voor AI-systemen. Echter, ondanks dit, is AI die wordt gebruikt in big data en hedendaagse technische ondersteuning meer dan in staat om momenteel veilig en effectief te worden ingezet.

3.3.5. Regelgeving

Ten slotte brengt het gebruik van AI in vliegtuigonderhoud kwesties van regelgeving met zich mee. Het is cruciaal dat AI-systemen voor vliegtuigonderhoud worden ontworpen en geïmplementeerd volgens de geldende regelgeving en normen voor de luchtvaart. Regelgevende benaderingen bij het gebruik van AI zullen worden besproken in Hoofdstuk 5.

4. Praktijkvoorbeelden en case studies

4.1. Succesverhalen

Door AI te integreren in vliegtuigonderhoud heeft de luchtvaartindustrie aanzienlijke successen geboekt. Zoals eerder uitgelegd, kunnen deze geavanceerde technologieën op vele manieren helpen. In dit hoofdstuk worden enkele producten besproken die momenteel op de markt verkrijgbaar zijn of geïntegreerd zijn in systemen.

4.1.1. Aiir Edge Hot (v7.0)

De gloednieuwe *Aiir Edge - Hot & Cold ADR's* stellen gebruikers in staat om real-time indicaties te krijgen tijdens de inspectie.

De *Aiir Edge ADR's* leveren robuuste prestaties om uw detectiegraad over de vloot te verbeteren dankzij de toevoeging van meer dan 30 nieuwe motorconfiguraties aan de gegevens, een nieuwe AI-modelarchitectuur en een grote toename van de hoeveelheid trainingsgegevens die wordt gebruikt.

De *Aiir Edge*-analyse is een op zichzelf staande, lichtgewicht versie van de analyse die wordt gebruikt door de *Aiir Inspection-software*. De analyse werd getraind met meer dan duizend uur aan *borescope*-opnamen om het *neural networks* te leren over interessegebieden tijdens inspecties.

Nadat het model is getraind, wordt het ingezet voor inferentie om indicaties te voorspellen op nieuwe opnamen. De *Aiir Edge*-analyse is geoptimaliseerd om offline uit te voeren op de *Mentor Visual iQ* en *Mentor Visual iQ+ edge*-apparaten.

De *Aiir Edge*-analyse is verkrijgbaar in twee varianten: *Aiir Edge – Cold*, voor *airfoil*-oppervlakken, en *Aiir Edge – Hot*, voor de gecoate hete sectie. Hier zullen we het voornamelijk hebben over de *Aiir Edge – Hot* versie.

4.1.1.1. Nauwkeurigheidsgraad

De nieuwste versie van de *Aiir Edge ADR* heeft “foute detecties” met 15 tot 30 procent verminderd.

Detectie in de verbrandingskamer

Scheuren, barsten	Gemiddeld
Missend materiaal	Goed
Missend TBC	Gemiddeld

Tabel 1: Detectie in de verbrandingskamer

Nauwkeurigheidsgraad

Heel goed	Hoger dan 80 procent
Goed	Tussen de 60 en 80 procent
Gemiddeld	Tussen de 40 en 60 procent
Zwak	Lager dan 40 procent

Tabel 2: Nauwkeurigheidsgraad *Aiir Edge ADR*

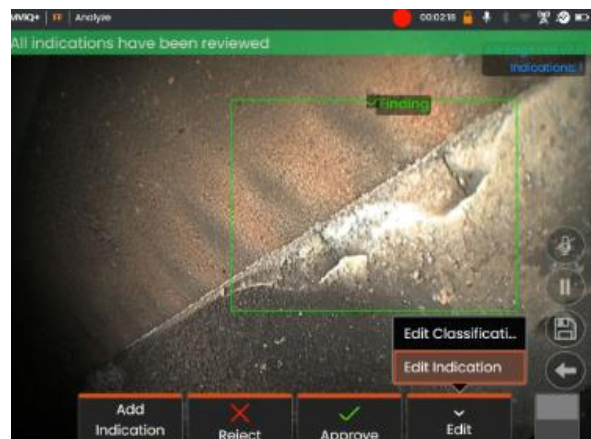
4.1.1.2. Opties tijdens het gebruik van de *Aiir Edge – Hot*

Je kunt heel erg veel doen met de *Aiir Edge – Hot*, zoals;

- Live beeldfragmenten
- Het beeld op 'freeze' zetten
- Een opgeslagen afbeelding terug openen en opnieuw inspecteren



Figuur 28: Live beeldfragmenten van de *Aiir Edge*



Figuur 27: Het beeld van de *Aiir Edge* op 'freeze'

Bij figuur 27 zie je een *finding*. De *Aiir Edge* heeft een barst gevonden, maar de persoon die de *Aiir Edge* vastheeft moet nog steeds bevestigen of dit een defect is of niet.

4.1.2. Aerogility

Het *Aerogility*-platform is een unieke tool ontworpen om professionals in de luchtvaart- en defensiesector te helpen hun operaties te optimaliseren en toekomstscenario's te plannen. Of het nu gaat om efficiënter onderhoud van vliegtuigen, kostenreductie of het verkennen van innovatieplatforms, deze tool versterkt de noodzaak van moderne luchtvaart.

4.1.2.1. Werking

4.1.2.1.1. Modelgebaseerde, multi-agent AI-systeem

Aerogility rust op een gevestigd modelgebaseerd *multi-agent* AI-raamwerk. De softwarebouwer bouwt in essentie meerdere 'agenten' die de diverse facetten van een bedrijfsvoering vertegenwoordigen, waaronder activa, processen en personeel.

Vervolgens wordt een set parameters aan elke agent gegeven die bepaalt hoe deze in wisselwerking staat met alle andere agenten in het model, evenals elke afhankelijkheid die de gebeurtenissen op een bepaald moment elders kan beperken. In de praktijk zou dit bijvoorbeeld kunnen inhouden dat een *repair station* wordt opgegeven zonder reservecapaciteit.

Dit impliceert dat wanneer een bepaalde verandering wordt veroorzaakt die een bepaalde agent beïnvloedt, *Aerogility* de impact van deze verandering verspreidt naar alle andere gekoppelde agenten om te voorkomen dat er een bepaalde strategie wordt geïmplementeerd die onpraktisch of onwaarschijnlijk is.

4.1.2.1.2. Veilige en betrouwbare resultaten leveren

In tegenstelling tot sommige andere AI-systemen die op de achtergrond werken om 'het antwoord' te produceren, is *Aerogility* transparant over hoe het zijn resultaten behaalt. Makkelijk gezegd, je kunt het proces begrijpen en vertrouwen op het resultaat. Dit is de kern van een "veilig en betrouwbaar" AI-systeem. Dit is cruciaal aangezien de beslissingen die het ondersteunt belangrijk zijn. Het zal echter niet enkel beslissingen voor u nemen, en het zal helpen bij het nemen van de beste beslissingen op basis van gestelde doelen en ervaring.

4.1.2.2. Aerogility voor luchtvaartmaatschappijen

Aerogility creëert een nauwkeurige *digital twin* van alle bedrijfsmiddelen, zoals vliegtuigen, reserveonderdelen, faciliteiten en personeel. Dit betekent dat u kunt plannen hoe deze middelen kunnen worden beheerd met de ongelooflijk eenvoudige *drag-and-drop*-functionaliteit.

Aerogility voorkomt dat u onrealistische plannen maakt dankzij het inzicht in afhankelijkheden in het hele systeem. Dit betekent dat wat eerder weken of maanden duurde, nu in minuten of uren kan worden gerealiseerd.

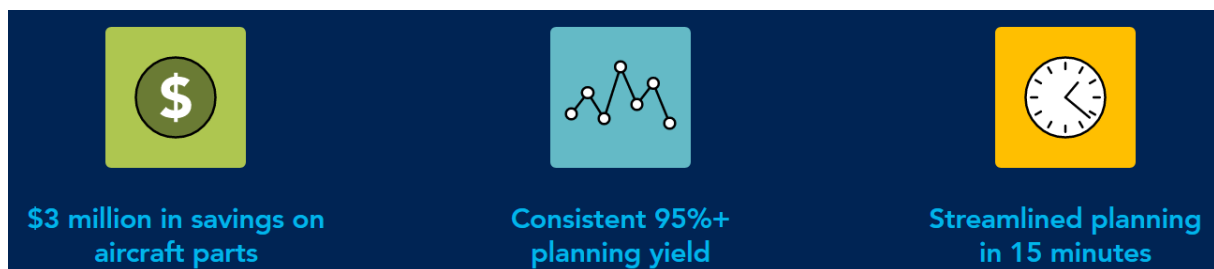
4.1.2.2.1. Hoge opbrengst, lage kosten

Voor luchtvaartmaatschappijen blijft het behalen van een hoge opbrengst een prioriteit, dit komt door de noodzaak om zoveel mogelijk winst te maken. Het verlangen roept vaak extra buffers op om te voorkomen dat risico wordt gehanteerd. Dankzij *Aerogility* kunnen luchtvaartmaatschappijen, met zeer nauwkeurige planningstools, duidelijk zien wat mogelijk is en wanneer en grondtijd verminderen en de waarde van de vloot centraliseren. Bovendien helpt *Aerogility* luchtvaartmaatschappijen om de waarde van dure componenten zoals motoren, landingsgestellen en *APUs* te verhogen.

4.1.2.2.2. Accurate simulatie

Niemand weet precies wat de toekomst voor hen in petto heeft. Luchtvaartmaatschappijen worden geconfronteerd met talloze uitdagingen, van veranderend passagiersgedrag en geopolitieke onzekerheid tot opkomende milieuregels en consolidatie binnen de industrie.

Met de *Aerogility*-simulaties kunt u de vele “wat als” -scenario's verkennen, of u nu bezig bent met het volgende kwartaal of het volgende decennium. Wat als u moet wijzigen door nieuwe vliegtuigen toe te voegen, of uw motoren te upgraden? Welke gespecialiseerde resources heb je in handen? Hoe ziet uw CO₂-voetafdruk eruit in het komende decennium, en wat kan en moet u daarbij doen? *Aerogility* voorziet u van vertrouwen in het beantwoorden van deze ingewikkelde vragen.



Figuur 29: Voordelen die *Aerogility* kan bieden aan luchtvaartmaatschappijen

4.1.2.3. Aerogility voor defensie

Aan de andere kant kunnen militaire planners er ook al vroegtijdig voor zorgen dat vliegtuigen met de juiste ondersteuning en goed georganiseerde en voorbereide teams naar het operatiegebied worden gestuurd. *Aerogility* stelt planner in de mogelijkheid om de eisen nauwkeurig voor te spellen en voor te bereiden waarmee de vliegtuigen en bemanning direct effectief kunnen opereren met een dito georganiseerd onderhouds- en logistiek systeem vanaf dag één dat ze een bepaald operatiegebied binnenkomen.

4.1.2.3.1. “Wat-als” scenario’s

Vliegtuigen, bemanning, onderhouds capaciteiten, synthetische middelen en meer worden weergegeven door intelligent software-agenten in een *Aerogility*-simulatie. Onderzoekers en planners kunnen met een groot aantal verschillende parameters in tal van “is-dit-het-geval?”-pogingen ontdekken hoe snel ze de prestaties in het veld in gevaar brengen. Het is essentieel bij het vinden van de optimale balans tussen echt gebruik van middelen en synthetisch gebruik. Er wordt nauwkeurig bepaald wat nodig is om de operationele prestaties volledig te optimaliseren.

4.1.2.3.2. Maximaliseer waarde voor geld

Pay per flying hour (‘power by the hour’); dit is een uitdaging voor zowel defensiemachten als fabrikanten van defensiematerieel. Het evenwicht tussen operationele effectiviteit en budgettaire verantwoordelijkheid. De hoge eisen van belastingbetalers en overheidsinstanties in termen van waarde voor investeringen in nieuwe vliegtuigen en capaciteiten betekenen dat deze beslissingen met grote helderheid moeten worden genomen.

Aerogility kan een zeer belangrijke bijdrage leveren bij het vergroten van deze helderheid. Het kan helpen bij het snel en nauwkeurig analyseren van grote investeringsbeslissingen met betrekking tot kosten over de hele levensduur van de asset. Het kan een defensieorganisatie ook de mogelijkheid bieden om de gevolgen van specificatieveranderingen onmiddellijk te beoordelen..

4.1.3. Lufthansa Technik: AVIATAR

AVIATAR biedt real-time monitoring en detectie van vliegtuigprestaties. Je krijgt een prioriteitsstatusoverzicht en het onderneemt onmiddellijk aanbevolen actie om de operationele efficiëntie te behouden. Je verkrijgt gemakkelijk inzicht in mogelijke storingen tijdens de vlucht, met als gevolg minimaliseert het de uitvaltijd.



Figuur 30: Data gebruiken ten voordele om een motor te inspecteren

Je voorkomt operationele verstoring door middel van predictieve analyses en aanbevelingen van AVIATAR. Het verhoogt ook de betrouwbaarheid en maakt gebruik van voorspellende oplossingen die een flink verschil kunnen maken.

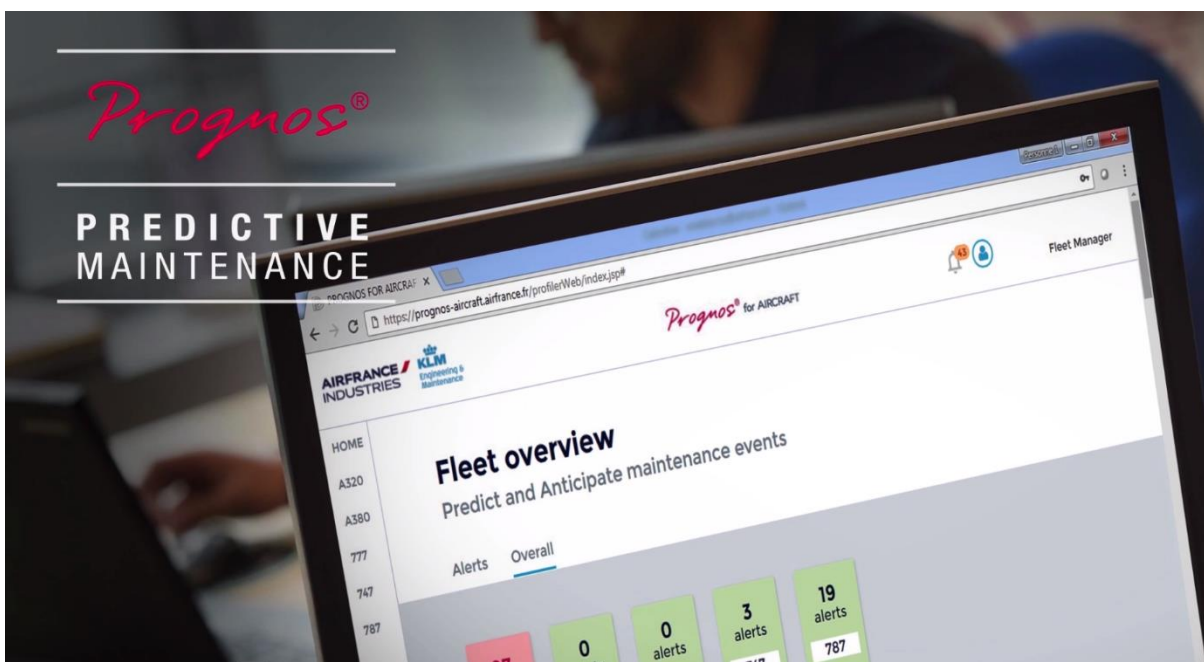
AVIATAR optimaliseert vluchtoperaties en het gepland onderhoud. Je beheert effectief middelen, personeel met geautomatiseerde en gepersonifieerde waarschuwingen en aanbevelingen, in wat de luchtvaartoperaties opnieuw kan bevorderen. Haal het maximale uit uw hand met AVIATARs automatiseringsoplossingen voor het verbeteren van uw efficiëntie en productiviteit. Van onderhoud tot logistiek AVIATARs M&E-systeemintegratie elimineert alle fouten door handmatig werk en het bespaart tijd en geld.

4.1.4. KLM: PROGNOS

Door het uitgebreide kennis van vliegtuigsystemen, innovatievaardigheden en big data-gebruik te combineren, heeft KLM een voorspellend algoritme gelanceerd. Dit voorspellende analysesoftware helpt bij het vervangen van onderdelen van het vliegtuigstelsel lang voordat ze falen.

Dit algoritme, genaamd *PROGNOS*, is uitsluitend bedoeld voor *Airbus*- en *Boeing*-vloten en is speciaal ontwikkeld om de operationele betrouwbaarheid te verbeteren en problemen te voorzien, minimaliseren de risico's van *Aircraft on Ground* (AOG) en daarmee samenhangend zakelijke kosten.

PROGNOS fungeert als een *big data*-oplossing voor onderhoudsdiensten en kan dienovereenkomstig functioneren als een hulpmiddel en als een analyseplatform. Het is eenvoudig te implementeren en te onderhouden. Het algoritme verzamelt elke dag data van vliegtuigen terwijl ze in de lucht zijn. Tijdens de vlucht slaat het deze gegevens op een beveiligde plek op en interpreteert deze met behulp van de beste ingenieurs.



Figuur 31: Overzicht van de vliegtuigen; aantal meldingen bij de A320, A380, 777, 747 en 787

4.1.4.1. Toepassingen

4.1.4.1.1. Motor

Je kunt motordefecten voorspellen om uw onderhoudsactiviteiten nauwkeuriger te sturen, er zijn drie verschillende trackingsoplossingen.

- *Short-term daily monitoring*: geen data of dringende meldingen, verwerking van data binnen minder dan 4 minuten na ontvangst van het *ACMS*-rapport (enkel voor vliegtuigen van Air France-KLM Group);
- *Mid-term weekly monitoring*: normale meldingen en e-mailrapporten
- *Long-term monthly monitoring*: degradatietrends en *predictive maintenance planning*

4.1.4.1.2. APU

Het zal luchtvaartmaatschappijen helpen maximale controle over hun *APU assets* te behouden, waardoor er zo lang mogelijk met minimale inspanning kan worden doorgewerkt. Ook is het mogelijk dat de *APU* aan het systeem wordt gekoppeld voor nauwkeurigheid. Bij elke tussenstop op de luchthaven wordt informatie naar het *central computer system* getransporteerd. Op deze manier kan het systeem voorspellen wanneer bepaalde onderdelen zullen falen en ze vervangen moeten worden. De luchtvaartmaatschappij is van tevoren al aan het vereiste onderhoud gedaan.

4.1.4.1.3. Voorraad

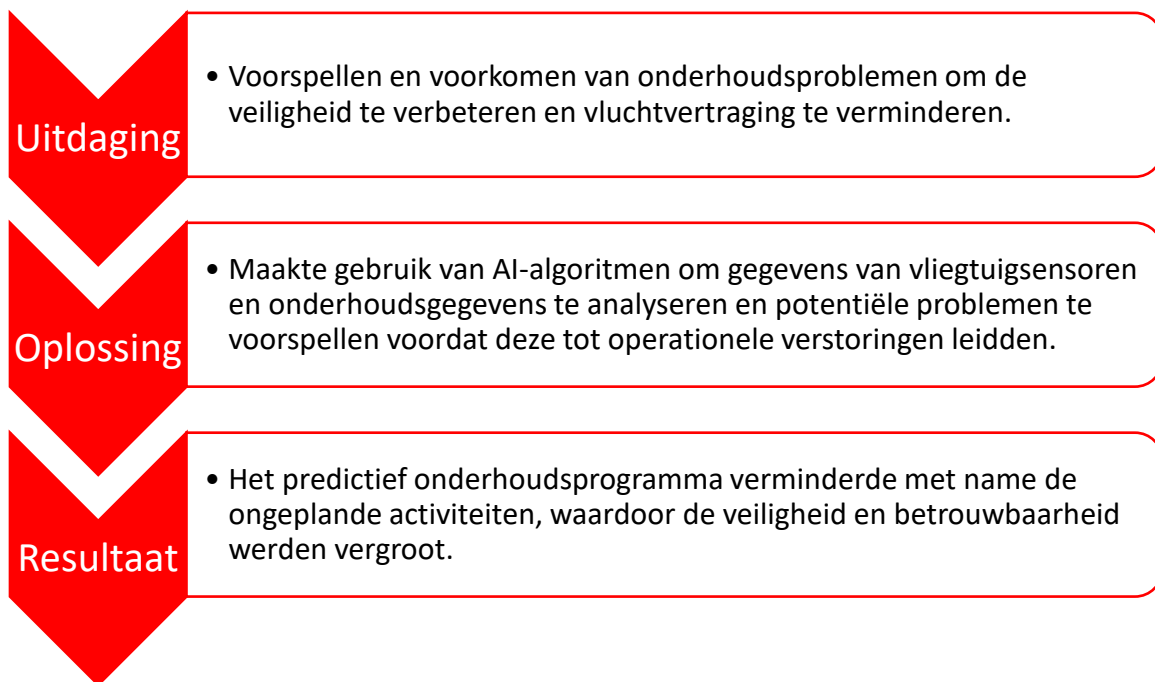
Door dit te doen via complexe statistische analyse, *big data* en *machine learning*, neemt *PROGNOS* voorraadfinanciën om de marktkansen en operationele beperkingen te beoordelen. Hierdoor kan het uitgebreide simulaties en geprioriteerde investeringsaanbevelingen maken op basis van het verwachte rendement op investeringen. *Return on investment* of *ROI* is de ratio tussen winst en de kosten van investeringen die ermee verbonden zijn.

4.2. Case studies

Dit gedeelte bevat enkele sterke case studies over 's werelds grootste luchtvaartspelers, *Delta Air Lines*, *Airbus* en *Boeing*. De case studies benadrukken hoe divers en impactvol AI geïntegreerd in hun operatie kan zijn. De voorbeelden benadrukken de cases voor predictief onderhoud. Ze tonen in feite een toekomst waarin de luchtvaart veiliger en slimmer is.

4.2.1. Delta Air Lines

Delta Air Lines, een van 's werelds toonaangevende luchtvaartmaatschappijen, exploiteert meer dan 5.000 vluchten per dag en bedient een uitgebreid netwerk bestaande uit meer dan 300 locaties in meer dan 50 landen, zowel internationaal als binnenlands. Het bedrijf heeft reputatie verworven als wereldleider in operationele uitmuntendheid, innovatie en klantenservice. Delta implementeert voortdurend geavanceerde oplossingen om de servicekwaliteit en operationele efficiëntie te verbeteren, waardoor het bedrijf wordt gepositioneerd als een van de meest invloedrijke spelers in de luchtvaartindustrie.



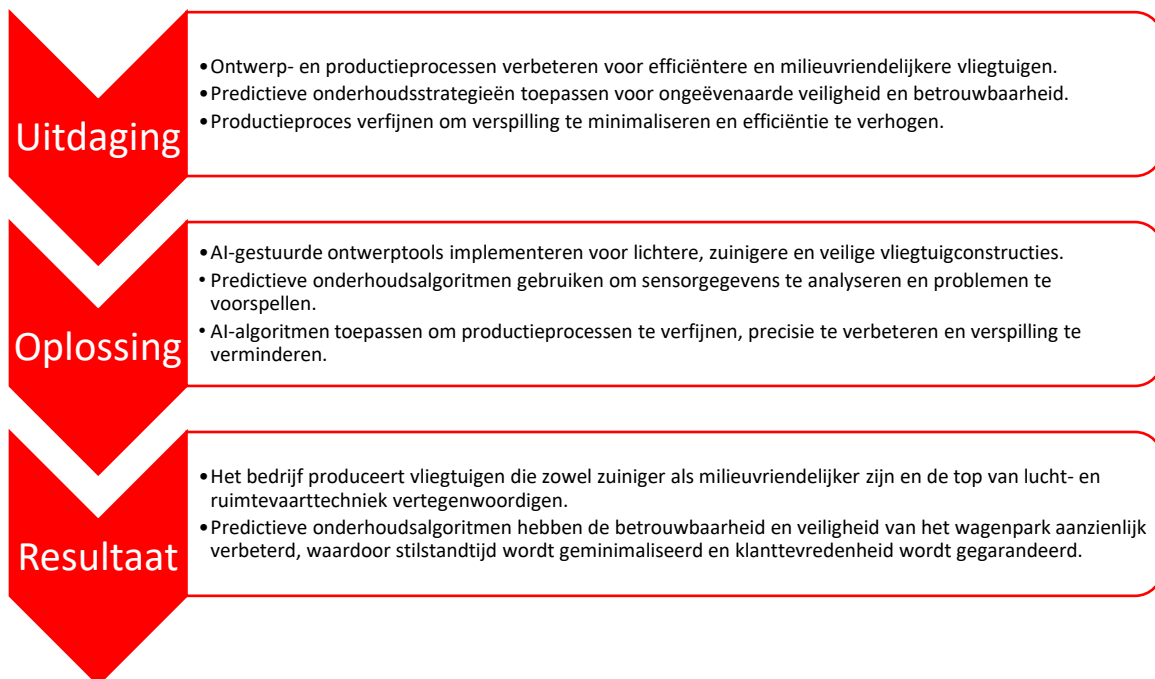
Figuur 32: Uitdaging, oplossing en resultaat bij de integratie van AI in vliegtuigonderhoud bij *Delta Air Lines*

Bovendien heeft *Delta Air Lines* AI kunnen gebruiken om vliegroutes aan te passen, waardoor brandstof wordt bespaard en de kosten voor aanvullende diensten worden verlaagd. Hierdoor krijg je besparing op financiën alsook vermindering van de ecologische voetafdruk.

Op gebied van klantenservice verhoogden AI-aangedreven *chatbots* gepersonaliseerde reisaanbevelingen via *machine learning* de tevredenheid, loyaliteit en terugkerende klanten van passagiers.

4.2.2. Airbus

Airbus – het bedrijf is een reus in de lucht- en ruimtevaartsector en staat bekend om zijn innovatie en kwaliteitsproducten, en daarom leidt hij de markt bij de productie van commerciële vliegtuigen, helikopters en producten voor defensie- en ruimtevaart. Het hoofdkantoor van *Airbus* is in Toulouse, Frankrijk. Deze Europese grootheid streeft ernaar om mensen te verbinden en te beschermen door middel van geavanceerde lucht- en ruimtevaarttechnologieën. De echte focus van *Airbus* op duurzaamheid en efficiëntie verschuilt zich in zijn doel van technologische vooruitgang – het bedrijf wil toekomstige eisen van de luchtvaart vervullen met milieuvriendelijke en kosteneffectieve oplossingen. Het bedrijfsproduct portefeuille en het wereldwijde markt bereik versterkt de kritieke betekenis van *Airbus* voor de evolutie van luchttransport en ruimtevaartontwerp.

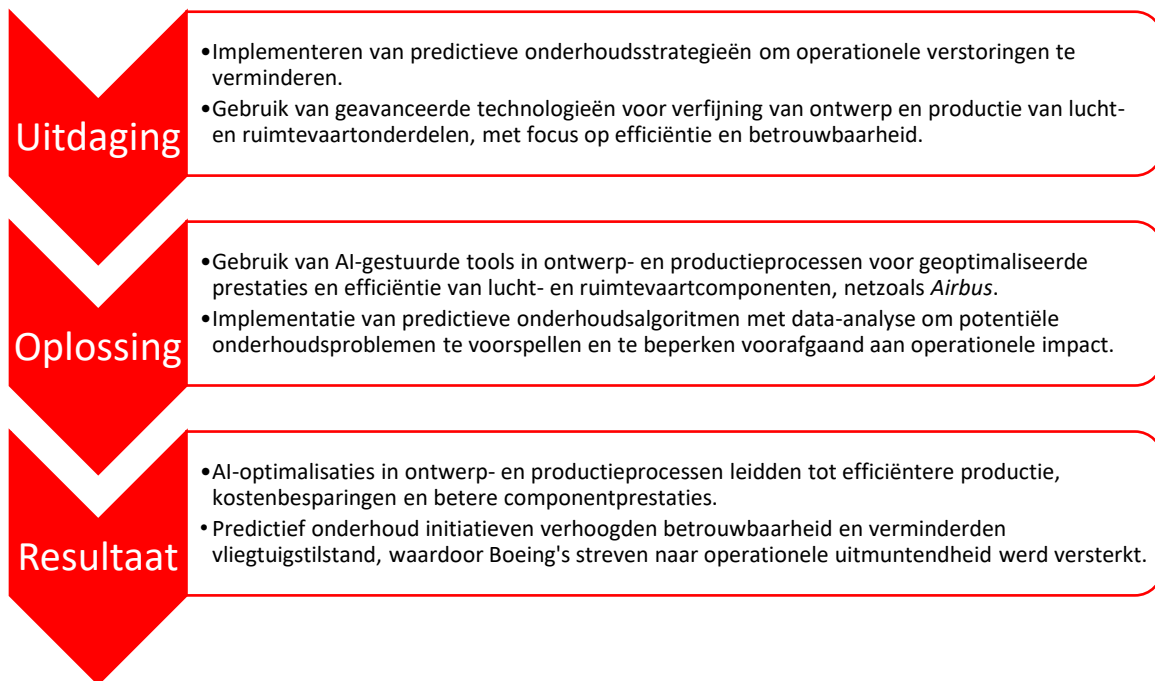


Figuur 33: Uitdaging, oplossing en resultaat bij de integratie van AI in vliegtuigonderhoud bij Airbus

Airbus wil ook graag het brandstofverbruik en de uitstoot verminderen om milieuproblemen te bestrijden en te voldoen aan de regelgeving. De organisatie heeft *machine learning* en andere geavanceerde technologische hulpmiddelen ingezet om de prestaties van zijn vliegtuigen te optimaliseren en ervoor te zorgen dat ze voldoen aan de hoogste normen van ecologische duurzaamheid.

4.2.3. Boeing

Een Amerikaanse multinational, *Boeing* is al vele jaren de toonaangevende lucht- en ruimtevaartonderneming ter wereld, op het gebied van lucht-, defensie-, ruimte- en beveiligingssystemen. Het bedrijf staat al meer dan een eeuw aan de frontlinie van de lucht- en ruimtevaart-arena en blijft daar de grenzen verleggen. *Boeing* heeft niet directe operationele aanwezigheid in België, maar heeft wel relaties met verschillende Belgische luchtvaartbedrijven en andere bedrijven over de hele wereld. Het biedt een divers spectrum aan producten en diensten zoals commerciële vliegtuigen, militaire vliegtuigen, satellieten, wapens, en holistische ondersteunings- en servicemogelijkheden. Deze gedrevenheid voor innovatie en kwaliteit staat centraal in *Boeing's* baanbrekende inspanningen en heeft het gerangschikt als een bepalende kracht in de toekomst van de lucht- en ruimtevaart. Dit draagt de algehele vooruitgang van het wereldwijde luchtverkeer en ruimteverkenning bij.



Figuur 34: Uitdaging, oplossing en resultaat bij de integratie van AI in vliegtuigonderhoud bij Boeing

Boeing wilt AI en *machine learning* ook implementeren voor de verbetering van de veiligheidsprotocollen voor vliegtuigen om potentiële problemen te voorkomen en het verminderen van brandstofverbruik en uitstoot.

5. Wetgeving, ethiek en veiligheid in AI-ondersteund vliegtuigonderhoud

5.1. Naleving van wetgeving en standaarden

5.1.1. ICAO

ICAO (*International Civil Aviation Organization*) is een agentschap van de Verenigde Naties dat samenwerkt met 193 lidstaten en brancheorganisaties om internationale burgerluchtvaartnormen te ontwikkelen en vast te stellen. Elk land moet zijn lokale wetgeving in overeenstemming brengen met de normen die door het ICAO worden gecreëerd. Soms kan de invoering van nieuwe wetten op enige vertraging verlopen en als technische professional moet u weten hoe hiermee om te gaan.



Figuur 35: Logo van ICAO

ICAO-documenten voor een gecertificeerde vliegtuigmonteur zijn Annex 6, Annex 8, Annex 13 en Annex 16, waarin de meeste aanbevelingen zijn vastgelegd voor de technische werking van vliegtuigen. EASA en FAA zijn respectievelijk Europese en Amerikaanse autoriteiten, zij zijn lid van ICAO en volgen hun normen en voorschriften.

5.1.1.1. De éénnveertigste ICAO Assembly Session

De *Executive Committee* besprak belangrijke beleidskwesties met betrekking tot de toekomst van de luchtvaart, met name de artificiële intelligentie en digitalisatie, in de één van de éénnveertigste sessie van de *ICAO Assembly*. Daarom concentreerde de vergadering zich vooral op AI en digitale technologie en hun invloed op de luchtvaart, inclusief de voordelen van en uitdagingen bij het gebruik van verschillende innovaties.

Dat omvat echter nieuwe regelgeving met betrekking tot de implementatie en het gebruik van AI. Hier zijn de belangrijkste punten uit de *ICAO Assembly Session* over AI in de luchtvaart:

5.1.1.1.1. Uitdagingen die aangepakt moeten worden

Om AI de grootste impact voor de luchtvaartindustrie te laten hebben, moeten er een aantal grote uitdagingen worden overwonnen. Deze omvatten ontwikkeling en implementaties van standaardpraktijken, data privacy en kosteneffectiviteit. De belangrijkste uitdagingen omvatten het volgende:

- Ontwikkeling en implementatie van standaardpraktijken:
De ontwikkeling en implementatie van AI vereisen standaardpraktijken, die samenwerking van ICAO, staten en de industrie omvatten. Zij moeten gemeenschappelijke kaders opzetten voor training, certificering, kwalificatie, operaties en gegevensdeling.
- Data privacy:
Het tweede belangrijke aspect is data privacy. Het delen van data tussen belanghebbenden in een vertrouwde omgeving is noodzakelijk voor het succes van digitale technologieën. *Department of Transportation (DOT)* kunnen standaarden vaststellen, die definiëren hoe gegevens worden verwerkt, door wie, en hoe de veiligheid van gegevens wordt gewaarborgd.
- Kosten van implementatie:
De implementatie van AI-technologieën kan duur zijn, vooral voor luchtvaartmaatschappijen in ontwikkelingsgebieden. Het identificeren van financieringsbronnen is essentieel om ervoor te zorgen dat de invoering van digitale technologieën wereldwijd gelijkmatig verloopt.

5.1.1.1.2. Aanbevelingen

De implementatie van AI in de luchtvaart vereist een duidelijke set van standaard werkpraktijken. De industrie en de staten moeten in principe instemmen met de regelgeving, wat betekent dat een gemeenschappelijke lijst met standaarden en praktijken moet opduiken. Wetten kunnen echter gegevensuitwisseling met digitale informatie promoten en tegelijkertijd persoonlijk gebruik beschermen.

Op de laatste enigszins mogelijke manier: overwegende dat de industrie onlangs een enorme neergang heeft meegemaakt vanwege de COVID-19-crisis, moeten fondsen voor industriepartijen beschikbaar zijn om nieuwe technologieën te implementeren en opnieuw te trainen.

- ICAO-leiderschap:
ICAO moet de leiding nemen door duidelijke definities, doelstellingen en een routekaart te bieden voor implementatie in de industrie.
- Regelgeving en industrieparticipatie:
Staten moeten wetten uitvaardigen die het implementeren van technologie door industriepartijen mogelijk maken. Industriële specifieke verenigingen zoals IATA kunnen in dit opzicht helpen bij de implementatie van standaarden en procedures.
- Financiering en training:
Het identificeren van financieringsbronnen is cruciaal voor de implementatie van technologie en training van het personeel. Dit is vooral belangrijk gezien de recente neergang in de industrie, die een kans biedt voor her- en bijscholing.

Door deze uitdagingen aan te pakken en de aanbevelingen op te volgen, kan de luchtvaartindustrie profiteren van de vele voordelen die AI te bieden hebben, terwijl de veiligheid en efficiëntie worden verbeterd.

5.1.1.2. Regels rond het gebruik van drones in vliegtuigonderhoud

ICAO Circular 328-AN/190 behandelt de regels en richtlijnen voor het gebruik van drones (*UAS – Unmanned Aircraft Systems*) in vliegtuigonderhoud. De komende tekst bespreekt de belangrijkste regels en overwegingen met betrekking tot het gebruik van drones in vliegtuigonderhoud.

5.1.1.2.1. Luchtwaardigheid en certificering

- De luchtwaardigheid van drones moet, aangezien het perspectief van de relevante wetgeving in overweging moet worden genomen, grotendeels voldoen aan de normen voor bemande luchtvaartuigen.
- Prestatiestandaarden en operationele procedures voor drones vereisen specifieke ontwikkeling als er geen overeenstemming is met normen voor bemande luchtvaartuigen.

5.1.1.2.2. Remote Pilot Stations

- Net als andere kritieke veiligheidselementen moeten *remote pilot stations* worden gereguleerd, hetgeen betekent dat ze moeten voldoen aan nog te ontwikkelen certificeringsnormen.
- Het onderhoud van *remote pilot stations* dient gelijkwaardig te zijn aan het onderhoud van de drone zelf.

5.1.1.2.3. Specifieke operationele overwegingen

- Obstakels en andere luchtvaartuigen kunnen waarnemen en vermijden. In het bijzonder zal dit de herkenning van luchthavenaanduidingen en visuele signalen en het vermijden van slecht weer en terrein omvatten.
- Eveneens moeten drones voldoen aan dezelfde vereisten voor luchtverkeersdienstverlening als bemande luchtvaartuigen, waaronder procedures voor gevallen van nood en vliegplannen, met enige regelgeving die mogelijk moet worden aangepast aan de specifieke kenmerken van drones.

5.1.1.2.4. Juridische en nationale regelgeving

- ICAO verenigingen moedigt staten aan om ervaringen inzake drones te delen, daarbij helpt ICAO bij het beleid en regelgeving inzake drones.
- Verschillende landen en regionale autoriteiten hebben beleid aangenomen dat drones dezelfde veiligheidsniveaus moeten halen als bemande luchtvaartuigen. Deze regelgeving houdt in dat de drone aan de regelgeving dient te voldoen van het luchtruim waarin deze operaties plaatsvinden en dat de drone in de gelegenheid dient te zijn om luchtverkeersleider instructies vanuit het luchtruim op te volgen.

De *ICAO Circular 328-AN/190* benadrukt dat drones geïntegreerd moeten worden in het bestaande luchtvaartregulatiesysteem, met aanvullende normen en procedures om hun unieke kenmerken en operationele vereisten aan te pakken.

5.1.2. EASA

EASA (*European Aviation Safety Agency*) is verantwoordelijk voor wet- en regelgeving op het gebied van luchtvaartveiligheid en voorziet de Europese Commissie en de staten van technisch advies. Het verving de JAA (*Joint Aviation Authorities*), die zorgden voor efficiëntere regelgeving.

EASA-regelgeving omvat *Implementing Rules (IRs)*, *Acceptable Means of Compliance (AMCs)*, *Guidance Material (GM)* en *Certification Specifications (CS)*. Deze regels en aanbevelingen zijn gemakkelijker toegankelijk gemaakt door *Easy Access Rules*-documenten.

Het regelgevingsproces kan worden afgeleid van het opstellen van *terms of reference*, het publiceren van *Notice of Proposed Amendment (NPA)* en het uitvoeren van een definitieve beslissing. Bovendien kunnen adviezen aan de EC worden voorgelegd voor in gevestigde regelgeving vallen worden veranderd.



Figuur 36: Logo van EASA

5.1.2.1. Regelgevende aanpak rond het gebruik van AI bij EASA

Zoals de analyse van de verwachte impact van AI op de verschillende luchtvaartdomeinen heeft aangetoond, zijn er voor alle domeinen gemeenschappelijke uitdagingen, evenals specifieke problemen die met AI verband houden. Een dergelijke conclusie houdt in dat de regelgevende inspanningen zowel horizontale (cross-domein) als verticale (domein-specifieke) regels zou moeten omvatten.

5.1.2.1.1. Fasen van ontwikkeling

Stap 1: Ontwikkeling van Part-AI:

De eerste fase omvat de ontwikkeling van een overkoepelend regelgevend kader, Part-AI, inclusief drie belangrijke onderdelen:

- *Part-AI.AR*, dat de vereisten omvat voor autoriteiten die toezicht houden op AI-toepassingen;
- *Part-AI.OR*, inclusief vereisten voor organisaties die AI-systemen ontwikkelen en implementeren;

- *Part-AI.TR*, dat betrekking heeft op AI-systemen' betrouwbaarheid en transparantie.

Daarnaast zullen AMC en GM worden gegeven met het oog op de 'verwachte MOC' (*Means of Compliance*). Voor verdere ontwikkeling zullen deze gebaseerd zijn op huidige EASA AI-Concept-papers, indien van toepassing met verwijzing naar relevante industriestandaards.

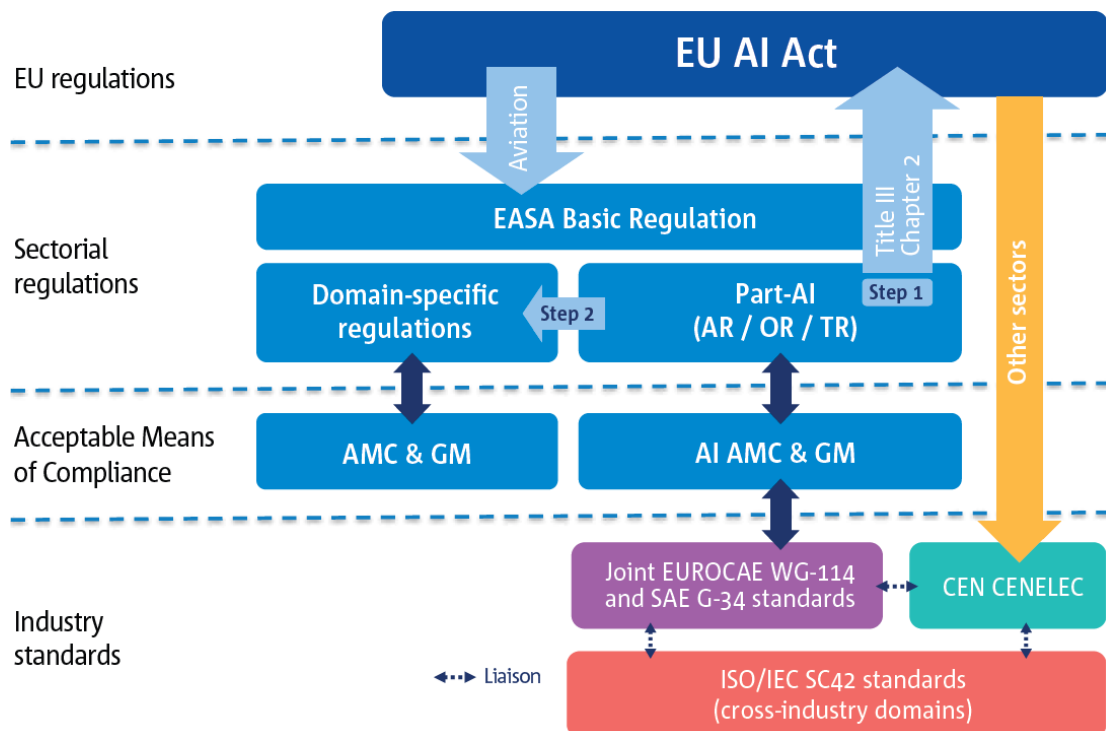
Stap 2: Domein-specifieke analyse:

De tweede fase omvat een diepgaande analyse van elk domein om aanvullende specifieke vereisten vast te stellen en toe te voegen die helpen bij het versterken van het regelgevende kader. Hierbij zal *Part-AI* voldoende worden geïmplementeerd in verschillende sectoren van de luchtvaart, waaronder onderhoud, luchtverkeersleiding en passagiersdiensten.

5.1.2.1.2. Regelgevende aanpak en EU AI Act

Deze regelgevende aanpak zal ook rekening houden met de *EU AI Act*. De behoeften op het gebied van AI-regulering zijn al geïdentificeerd in het *European Aviation Safety Plan (EPAS) 2023-2025*, Volume I: Sectie 3.4.1 '*Artificial intelligence in the Aviation Programme*'. Verwacht wordt dat een gedetailleerd regelgevend plan zal worden ontwikkeld in de volgende herziening van *EPAS Volume II*.

Deze gefaseerde en gedifferentieerde manier van werken maakt effectieve aanpak van de specifieke uitdagingen en vereisten van AI in de luchtvaartsector mogelijk, wat bijdraagt aan de veiligheid, betrouwbaarheid en efficiëntie van AI-toepassingen in de luchtvaart.



Figuur 37: Verwachte regelgevende structuur voor AI in de luchtvaartindustrie

5.1.3. FAA

De FAA regelt de civiele luchtvaart in de VS. Ze publiceren regels in 14 CFR die verband houden met luchtvaart en ruimtevaart. Tijdelijke regels voor speciale situaties vallen onder *SFARs*. *FAA Orders en Notices* zijn richtlijnen voor FAA-medewerkers.

Het regelgevingsproces omvat het publiceren van *NPRMs* ter becommentariëring, gevolgd door een mogelijk *FNPRM*. Het definitieve reglement wordt gepubliceerd in de *Federal Register* en bijgewerkt in de CFR. In noodgevallen kan de *NPRM* worden vermeden, zoals bij een *Emergency Airworthiness Directive*.

We hanteren Europese regelgeving in plaats van de regels van de FAA, aangezien we ons in Europa bevinden.



Figuur 38: Logo van de FAA

5.1.3.1. Korte toelichting AI/ML bij de FAA

De FAA zegt dat AI/ML in het begin niet mag worden toegepast op hoog-risico toepassingen. Er moet een veilig ontwerp zijn voor met behulp van AI/ML dat dezelfde leunningen volgt als alle andere ontwerp van bestanddelen in de luchtvaart, met veiligheid als de allereerste. Verder stelt de FAA dat het ontwerp moet aanvaarden dat AI/ML zal falen en bescherming bieden tegen dit, zoals onjuiste middelen om te leren.

In 14 CFR Deel 43, bijlage A, wordt de degelijkheid van elk onderhoud, elke wijziging of elk preventief onderhoud aan een vliegtuig, motor, propeller of apparaat bepaald door de voorschriften van de fabrikant of als aanvaardbaar beschouwd door de administrator. Dit betekent dat de persoon die de taak uitvoert effectief over de kennis, hulpmiddelen en vaardigheden beschikt om het werk veilig te voltooien kan.

Wanneer er specifiek wordt gesproken over AI, aangezien het gebruik van AI in vliegtuigonderhoud een recent fenomeen is en mogelijk geavanceerde technologie vereist, de wet zou waarschijnlijk aangeven dat de integratie van AI-systemen in onderhoudsprocedures voldoen aan veiligheidsstandaarden, nauwkeurigheid en betrouwbaarheid op gelijke voet met standaardmaatregelen. Dit vereist dat alle AI-systemen die worden gebruikt in het onderhoud, in staat moet zijn om te voldoen aan de voorgestelde richtlijnen en goedgekeurde praktijken door de fabrikant en de FAA.

Op 30 oktober 2023 ondertekende president Biden *Executive Order 13690* met betrekking tot de verzekering van de veilige en beveiligde ontwikkeling van AI. Het bevel instrueert de *National Science Foundation* en het *National Institute of Standards and Technology* om onderzoek te doen naar wetsteen en ontwikkeling van normen en voorzorgsmaatregelen. *Sector Risk Management Agencies (SRMA's)* zijn gericht om zowel sector als cross-sector risico-inventarisaties te verrichten en overweging te geven aan middelen om deze te verminderen. Het bevel zal allicht invoergegevens genereren die voor de luchtvaartsector nuttig zijn, maar pas nadat de voorwaarden juist gezuiverd zijn.

Op 27 november 2023 hebben 18 gelijkgestemde landen een gezamenlijke uitzonderlijke uitspraak uitgegeven met betrekking tot het organiseren van AI-systemen en deze in een gebracht welke is gepubliceerd op de *UK NCSC*-website. Dit maakt deel uit van een georganiseerde actie om het vertrouwen van specifieke garanties van AI-systemen te versterken.

5.1.4. Persoonlijke visie omtrent toekomstige regelgeving

Hoewel het in het heden niet wettelijk is toegestaan om drones te gebruiken bij vliegtuigonderhoud (in de hangar), denk ik dat dit in de toekomst zal veranderen in overeenstemming met de ontwikkelingen die ik in hoofdstuk 6 heb uiteengezet.

Ik denk dat het in de toekomst mogelijk is om op een meer flexibele manier drones in de hangar en camera's in de camera te gebruiken. Het kan bijvoorbeeld het geval zijn om camerasystemen in de hangar te installeren en ze dan te bedienen om te vliegen met behulp van *computer vision*-technologie.

5.2. Ethische overwegingen volgens EASA

Om AI in vliegtuigonderhoud volledig betrouwbaar te gebruiken, volgt EASA de ethische richtlijnen van de Europese Commissie. De ethische richtlijnen identificeren zeven belangrijke vereisten om AI-systemen als betrouwbaar te beschouwen. EASA heeft een beoordelingslijst opgesteld waarmee kan worden beoordeeld of elke eis wordt nageleefd bij het toepassen van AI in vliegtuigonderhoud.

5.2.1. Menselijke regie en toezicht

AI-systemen moeten binnen verantwoorde rekenschap het mogelijk maken dat menselijke wezens geïnformeerde beslissingen nemen en hun fundamentele rechten bevorderen. Ondertussen moet worden gegarandeerd dat overeenkomstig toezichtmechanismen, wat kan worden georganiseerd door benaderingen zoals mens-in-de-lus, mens-boven-de-lus en mens-in-opdracht.

5.2.2. Technische robuustheid en veiligheid

AI-systemen moeten veerkrachtige systemen zijn. Het project voorziet in veilige systemen die ervoor zorgen dat er een back-upplan is in geval van een fout. Ze moeten echter tegelijkertijd accuraat, betrouwbaar en reproduceerbaar zijn, zodat zelfs onbedoeld letsel kan worden geminimaliseerd en vermeden.

5.2.3. Privacy en gegevensbeheer

Naast het volledig waarborgen van privacy en gegevensbescherming waren ook deze adequaat ter gegevensbeheer voor de juiste en goede bescherming van en het in gelegitimeerde gevallen toegang hebben tot gegevens.

5.2.4. Transparantie

Transparant in de zin dat de gegevens, het systeem en de AI-bedrijfsmodellen transparant zijn. Traceerbaarheidsmechanismen kunnen hierbij helpen. AI-systemen en hun beslissingen moeten ook op een manier worden uitgelegd die is aangepast aan de betrokken belanghebbende partij. Mensen moeten bijvoorbeeld weten dat ze met AI interageren, en worden zich bewust van de prestaties en beperkingen van AI-systemen.

5.2.5. Diversiteit

Er moet ook sprake zijn van oneerlijke bias, dat kan resulteren in een aantal ongunstige gevolgen, variërend van het marginaliseren van de mensen die kwetsbaar zijn voor het verhogen van vooroordelen en discriminatie. Diversiteit dient tevens een vereiste te worden: AI-systemen moeten toegankelijk zijn voor iedereen, ongeacht handicap, en relevante stakeholders dienen te worden betrokken gedurende de gehele levenscyclus.

5.2.6. Milieubelang

AI-systemen moeten goed zijn voor iedereen, vaak al degenen die nog gaan komen. Dit betekent dat het duurzaam en milieuvriendelijk zijn moet worden verzekerd. Het moet rekening houden met het milieu en andere levende wezens, inclusief sociale en maatschappelijke impact moet worden overwogen.

5.2.7. Verantwoordingsplicht

Mechanismen voor het verzekeren van verantwoordelijkheid en aansprakelijkheid voor AI-systemen en hun resultaten zouden moeten bestaan. Audit is het proces van het controleren van algoritmen, gegevens en ontwerpprocessen dat zich leent voor kritieke toepassingen. Bovendien moet er een garantie zijn voor de rechten van adequate en gemakkelijk toegankelijke rechtsmiddelen.



Figuur 39: Overzicht van alle zeven ethische richtlijnen volgens de Europese Commissie

5.3. Veiligheid en risicobeheer

5.3.1. Human Factors

In de vroege dagen van de luchtvaart waren technische problemen verantwoordelijk voor ongeveer 80% van de ongelukken, terwijl menselijke fouten ongeveer 20% uitmaakten. In de jaren 70 bleek echter dat de meerderheid van de ongevallen vaker veroorzaakt werd door menselijke fouten dan mechanische problemen.

Dit inzicht leidde tot de ontwikkeling van modellen zoals het SHELL-model, dat de interacties tussen Software, Hardware, Omgeving en Levende factor in het luchtvaartstelsel benadrukte. Tragische ongevallen, zoals *United Airlines Flight 173* en *Aloha Airlines Flight 243*, leidden tot de invoering van *Crew Resource Management (CRM)* en *Maintenance Resource Management (MRM)* trainingen.

Gedurende de jaren 90 werd het belang van menselijke factoren verder onderstreept door modellen zoals het PEAR-model en het Reason-model, die de relatie tussen menselijke fouten en organisatorische factoren onderzochten. Deze ontwikkelingen benadrukten het belang van menselijke factoren in de luchtvaartveiligheid.

5.3.1.1. Human factors voor AI in de luchtvaart volgens EASA

Vanuit het oogpunt van vliegtuigonderhoud veroorzaakt de tandem AI-ontwikkeling ernstige veranderingen in de aanpak van menselijke factoren. EASA heeft specifieke leidraad- en richtlijnen uitgedrukt en geconcentreerd met het oog op menselijke factoren, evenals drukpunten om AI-systemen veilig en effectief in te zetten. De meest vitale punten en kwesties omvatten de volgende.

5.3.1.1.1. Integratie van AI en human factors

AI-systemen in vliegtuigonderhoud dienen ontworpen te worden met aandacht voor de interactie tussen mens en machine. Dit omvat onder andere:

- AI operationele verklaarbaarheid:

AI-systemen moeten hun beslissingen en acties kunnen uitleggen op een manier die begrijpelijk is voor onderhoudsmedewerkers. Dit helpt bij het opbouwen van vertrouwen in de systemen en zorgt ervoor dat technici de AI-systemen effectief kunnen gebruiken en begrijpen.

- Mens-AI Samenwerking:

AI-systemen moeten niet alleen autonoom functioneren, maar ook als teamgenoten kunnen samenwerken met mensen. Dit betekent dat de AI de situatiebewustzijn moet delen, abnormale situaties moet identificeren en diagnostiek moet uitvoeren samen met de technici.

5.3.1.1.2. Interactie met AI

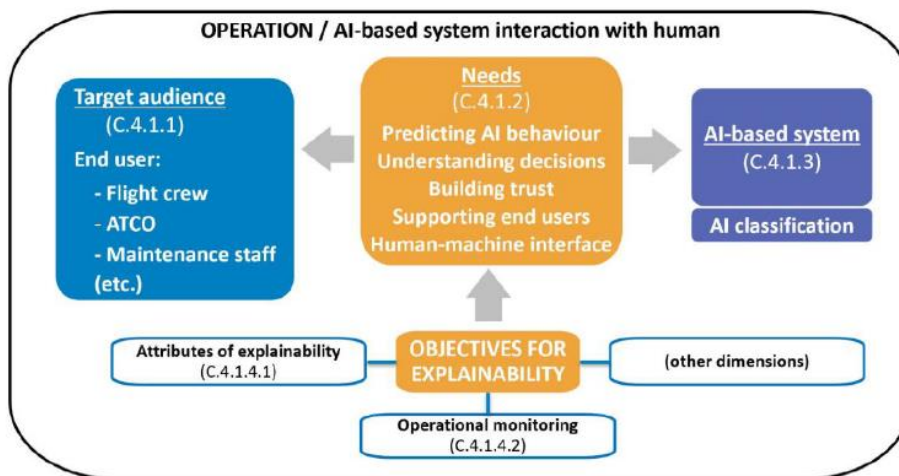
De introductie van AI verandert de interactie tussen gebruikers en systemen. AI-systemen moeten ontworpen worden met diverse communicatiemiddelen zoals spraakherkenning en gebaren. Belangrijke overwegingen zijn:

- Natuurlijke gesproken taal:

AI-systemen moeten menselijke taal kunnen begrijpen en gebruiken, wat de communicatie tussen onderhoudsmedewerkers en AI-systemen vergemakkelijkt. Dit moet echter zorgvuldig worden beheerd om misverstanden en operationele fouten te voorkomen.

- Gebarenherkenning:

Bewegingen en gebaren kunnen als een taal worden gebruikt om informatie uit te wisselen, wat de flexibiliteit en efficiëntie van de interactie verhoogt.



Figuur 40: Interactie tussen mens en AI

5.3.1.1.3. Fout- en werkdrukbeheer

AI-systemen moeten bijdragen aan het beheer van menselijke fouten en werkdruk door:

- Ondersteuning van foutbeheer:

Ontwerpen moeten rekening houden met het beheersen van menselijke fouten door middel van effectieve AI-interacties, die de technici helpen bij het identificeren en corrigeren van fouten.

- Werkdrukbeheer:

AI-systemen moeten ontworpen zijn om de werkdruk van technici te verlichten, door taken te automatiseren en relevante informatie tijdig en efficiënt te verstrekken.

5.3.1.1.4. Maatwerk en flexibiliteit

AI-systemen moeten flexibel en aanpasbaar zijn aan de behoeften van de eindgebruikers:

- Aanpassing van de mens-AI interface:

De interface van AI-systemen moet aanpasbaar zijn aan de specifieke behoeften en voorkeuren van technici, zodat de systemen efficiënt en effectief kunnen worden gebruikt.

In conclusie benadrukken de EASA-richtlijnen het belang van menselijke factoren ten aanzien van het gebruik van AI in de luchtvaart, met name in het domein van het beheer en onderhoud van vliegtuigen. Operationele verheldering, menselijke systemen die met AI werken, diversiteit in interactiemogelijkheden, het regelen van uitzonderingen en drukte, en interactieve systemen zullen effectieve integratie van AI-gebaseerde technologieën mogelijk maken. De EASA-richtlijnen zullen de veiligheid en efficiëntie van de luchtvaartsector verbeteren.

5.3.1.2. Cybersecurity risico's gerelateerd aan AI/ML

Men kan het zich bijna niet veroorloven te denken dat een (bijna) perfecte implementatie van het model voldoende is. Het tweeledige plotselinge veiligheidsprobleem van AI/ML zijn de omgeving waarin het AI/ML-model gebouwd was, en de dataset die gebruikt wordt om het AI/ML-model te trainen is. Er is bekend dat opzettelijke amputatie aan de dataset overbodige problemen in het model zal aanspreken. Evenzo kan de amputatie van de omgeving zorgen dat het model uit zijn pas loopt. De bestaande standaardmaterialen voor luchtvaartproducten, *DO178C/ED-12C*, *DO-330/ED-215*, *DO-326A/ED-202A* en *DO-356A/ED-203A*, kunnen het AI/ML-softwareprogramma in het vliegtuig ondersteunen, maar zijn onvoldoende voor het beveiligen van het vliegtuig. Bovendien biedt geen van deze standaarden ondersteuning voor grondtoepassingen of voor het goedkeuren van nieuwe operationele modificaties.

Andere soorten toepassingen met gedeelde risico's – gedeelde risico's zullen grotendeels worden aangepakt door bestaande processen die bescherming bieden, zoals kwetsbaarheden in codeverwerking van externe invoer – zullen grotendeels worden aangepakt door bestaande processen die bescherming bieden. AI/ML heeft unieke risico's waarvoor ook beschermende processen moeten worden ontwikkeld. Bedreigingen voor AI/ML zijn gerelateerd aan de inherente modellen in de training en in de ingezette omgeving. Geen van de huidige richtlijnen bieden bescherming tegen gegevensvergiftiging of vooroordeelintroductie. Omgevingsproblemen, waaronder modellogica-bedreiging en modelomzeiling, worden niet ondersteund door huidige richtlijnen in industrieën gerelateerd aan AI/ML.

OWASP heeft het volgende materiaal gepubliceerd voor specifieke subklassen van AI/ML, die omvatten "Top 10-vertrouwen voor toepassingen bij het maken van *Large Language Model (LLM)*" en een "Top 10 voor *Machine Learning*". Deze publicaties met Microsoft kunnen worden geïntegreerd in het vliegtuigonderhoud, aangezien de processen voor het implementeren en certificeren van AI/ML in de luchtvaartindustrie ervoor zorgen dat deze bedrijven worden gecertificeerd als veilig.

Het *UK National Cyber Security Centre* heeft ook documentatie gepubliceerd die waarschuwt voor de risico's die gepaard gaan met *LLMs* en enkele stappen die tijdens ontwerpprocessen moeten worden geïmplementeerd voor mitigatie. *RTCA* heeft uitnodigingen verstuurd voor inbreng over de mogelijkheden om *MOPS*, *MASPS* en andere *RTCA*-documenten aan te passen om op de beste manier rekening te houden met AI en andere opkomende technologieën. *ENISA* heeft ook de uitdagingen en tekortkomingen uitgedrukt van vandaag z'n benadering om het cyberdreigingslandschap voor AI aan te pakken en heeft een *ad-hoc* werkgroep opgericht om een voorstudie uit te voeren en aanbevelingen te doen terwijl de tweede stap in de vaste projectgroep om definitieve materialen op te stellen voor de Europese Commissie. Zie voor meer informatie *ENISAs* *whitepaper* over AI en cyberveiligheid die in juni 2023 is gepubliceerd.

6. Toekomstige ontwikkelingen

6.1. Opkomende technologieën en innovaties

AI blijft evolueren, waardoor ook technologieën en innovaties zich ontwikkelen. Enkele nieuwe ideeën zijn mogelijk al op de markt verschenen of zullen binnenkort verschijnen. Hier zijn enkele voorbeelden van innovaties die kunnen worden toegepast bij vliegtuigonderhoud.

6.1.1. A*STAR

Bij A*STAR hebben ze een geavanceerde AI-oplossing bedacht om de nauwkeurigheid van detectie van defecten voor vliegtuigonderhoud op de oppervlakten zoals vleugels en rompen te verbeteren. A*STARs *Smart Automated Aircraft Visual Inspection System* (SAAVIS).

A*STARs SAAVIS is een oplossing die robotica, *computer vision* en AI combineert. In hun concept worden er camera's opgehangen in de hangar en/of aangebracht op robots die betrokken zijn bij vliegtuigonderhoud, waardoor ze defecten aan het vliegtuig kunnen detecteren. Eerst worden de vliegtuiglocatie en toestand zich bewust van hoge resolutie camera's die aan het plafond hangen in de hangar en aan autonome grondrobots met 3D-lokalistietechnologie. Vervolgens wordt de visuele gegevens verwerkt met AI-technologie in dit geval *computer vision* voor automatische defectdetectie.



Figuur 41: Concept van camera's die in de hangar hangen en gebruik maken van *computer vision* om defecten te detecteren



Figuur 42: Robot die beelden maakt van de zijkant van het vliegtuig (bereik van 2 meter)

6.1.2. AkzoNobel

De Aerofleet Coatings Management is een digitaal beheersysteem van *AkzoNobel Aerospace Coatings*, dat individuele luchtvaartmaatschappijen en operators de kans biedt om hun onderhoudsschema te optimaliseren. Het systeem, ontworpen door *AkzoNobel*, maakt op basis van verzamelde gegevens een duidelijk onderscheid tussen overdadig schilderen en schilderen wanneer het nodig is.

Dit is de oplossing van *AkzoNobel* om de verspilling tegen te gaan: door zowel handmatige als drone-inspecties te gebruiken en door gegevens over coatings te verzamelen en analyseren, is het nu gemakkelijker om te begrijpen wanneer het vliegtuig opnieuw geverfd moet worden. Het resultaat is duidelijk: lagere kosten, vaker beschikbare vliegtuigen, minder afval. Het is een win-win situatie voor de planeet en de bedrijfsresultaten.



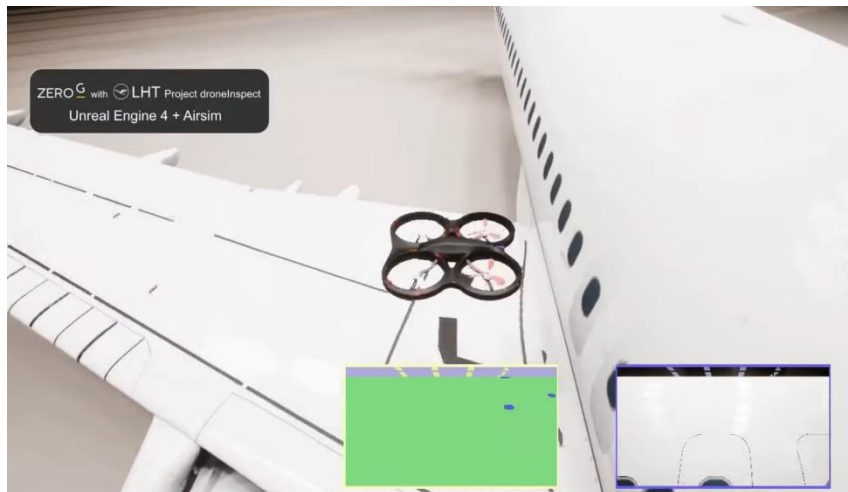
Figuur 43: Drone die ingezet worden om *coating* van het vliegtuig te analyseren

6.1.3. Lufthansa Group: AI drone inspectie

Het inspecteren van vliegtuigen op schade is een cruciaal onderdeel van het lijnonderhoud dat een substantieel deel van de tijd in beslag neemt. Drones uitgerust met hoge definitie camera's kunnen moeilijke onderdelen, waaronder de bovenste romp, in enkele minuten scannen. Het schade monitoring project, een samenwerking tussen *zeroG*, *Lufthansa Technik*, *Technische Universität München*, *Helmut Schmidt Universität Hamburg* en *Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt*, had als doel om schade te detecteren.

6.1.3.1. Genereren van drone beelden

Beelden of video's op basis van die hoge kwaliteit zijn van essentieel belang voor geslaagde objectdetectietraining. Vanwege een gebrek aan dergelijk *real-world*-materiaal, werd trainingsmateriaal gegenereerd door middel van 3D-software *Unreal Engine 4*,



Figuur 44: Drone vliegt rond het vliegtuig en neemt beelden op

Engine 4, wat uitstekende beeldkwaliteit en

benadering van licht bood in real-time met behulp van Nvidia's *realtime ray tracing*. De lichtbenadering en beeldkwaliteit waren cruciale componenten van het project aangezien *Microsoft AirSim*, geïntegreerd in UE4, nauwkeurige simulaties van dronevluchten mogelijk maakte en object gesegmenteerde beelden genereerde, die manueel labelen overbodig maakten.

6.1.3.2. Simuleren van schade

ZeroG bouwde een realistische set-scene van een A320 vliegtuig in een hangar en genereerde een drone voor het maken van foto's. Een *UE4 C++ API* simuleerde verschillende lichtscenario's. "Common" defecten als krassen, deuken en blikseminslag-brandmerken werden als 'schade' toegevoegd. *Materialize* creëerde *normal* en *height maps*, Blender zijn *Python API* om deuken te genereren. Defecten werden éénduidige plekken op het vliegtuig vastgesteld, en met *RTX2080Ti* GPUs werden honderden beelden gerendeerd.

6.1.3.3. Detecteren van defecten

Per moment werden 2 afbeeldingen gegenereerd: 1 echt camerabeeld en 1 objectopsplitsing. Automatische labels werden gecreëerd aan de hand van *OpenCV* bibliotheek. Deze beelden en labels gingen beide als input naar een *MaskRCNN* detectiemodel. Vanwege de grootte van de defecten was het gebruik van hoge resolutie input beelden noodzakelijk. In de volgende stap werd de modelprestatie getest op reële beelden; toekomstige drone beelden zouden de trainingsdatabase pool verrijken.

6.1.4. TUI Airlines

TUI is steeds vaker een van de pioniers in deze veld en wil dat blijven doen. Ze zijn via deze weg hun teams aan het inzetten om opties te zoeken om alles meer operationeel en veiliger te maken voor hun collega's en de klanten. Dit wordt op twee manieren bereikt:

- sUAS samenwerking
TUI E&M werkt samen met *Donecle* en *Mainblades*, er wordt gebruik gemaakt van een *Small Unmanned Aerial Systems* om ze te laten vliegen en zo hun onderhoudsprocedures te testen en stappen te ondernemen om ze beter of makkelijker te maken.
- Geautomatiseerde drone tests met Boeing
Samen met Boeing test TUI met twee drone onderhoudsbedrijven *Donecle* en *Mainblades* op een van hun vliegtuigen, namelijk de *G-TAWZ* om een geïnspecteerde GVI inspectieprocedure te verzinnen. Dit moet zoveel beter worden dan de huidige veiligheidsinspectie dat de FAA gaat beslissen dat die nieuwe moeten worden of hetzelfde voor de veiligheidsvoorschriften van de bedrijven zoals Boeing dit zijn onderdelen en schrijven dit de "toekomst" in.

De FAA-goedkeuring voor camera-gebaseerde GVI-inspecties hoeft niet beperkt te blijven tot dronecamera's, wat mogelijkheden biedt voor vaste of andere camerasystemen in de 'hangar van de toekomst'.

6.2. Routeplan van EASA voor de komende jaren

Het routeplan van EASA voor de komende jaren omvat implementatie van AI-oplossingen in onderhoud. Ze hopen dat de markt in de toekomst deze implementatiesnelheid kan bereiken. De AI-toepassingen zijn in verschillende levels opgedeeld.

Tijdens Level 1, in de beginfase, zal kunstmatige intelligentie als een assistent worden gebruikt. De beoordelaars informeerden dat dit volgens hun raming in 2025 zal gebeuren, maar we kunnen zien dat het tijdens de presentatie al is gebeurd. Verderop zal de oplossingsontwikkeling zich ontwikkelen tot een grotere schaal – Level 2 betekent geautomatiseerde oplossingen op grotere schaal. Vervolgens zou EASA AI geautomatiseerde oplossingen implementeren om de piloot tijdens enkele operaties te ondersteunen. Dit betekent weinig voor vliegtuigonderhoud en potentieel in 2035 of zelfs rond deze tijd. Het is geen echt doel, maar eerder een voorspelling gegeven de huidige situatie in de luchtvaart.

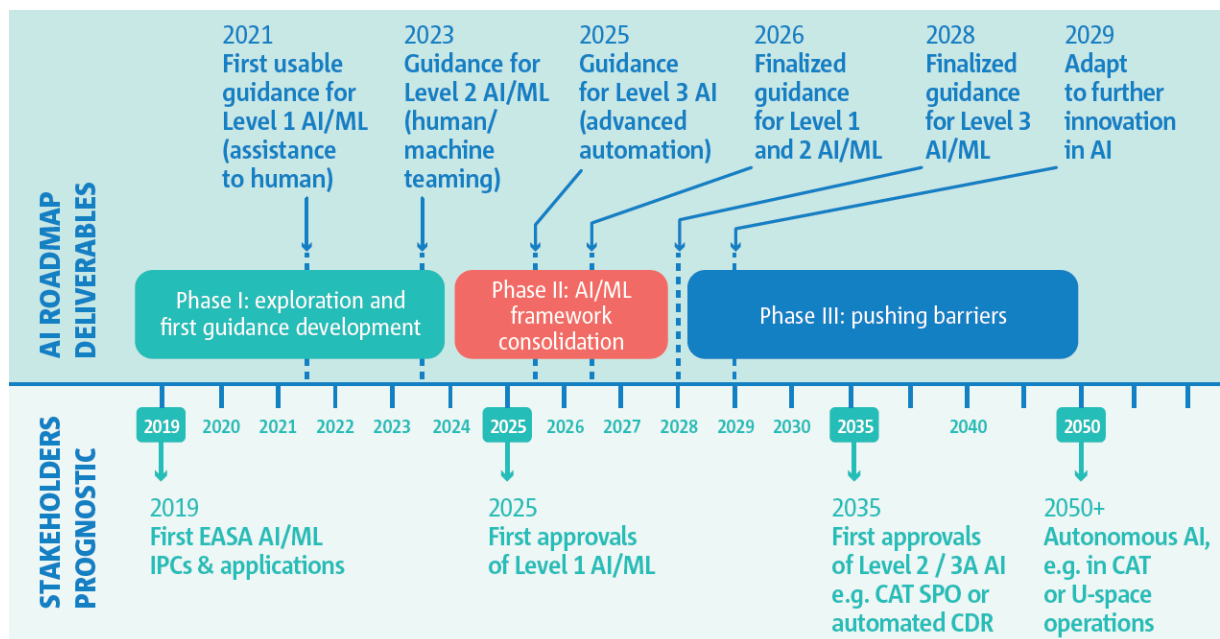
De volgende stappen zijn geavanceerde AI met menselijke toezicht (Level 3A AI) en later zonder menselijk toezicht (Level 3B AI). Volgens de stakeholders vindt dit waarschijnlijk plaats tussen 2035 en 2050. In sommige luchtvaartdomeinen wordt momenteel gepleit voor een stillere doorgang naar het laatste stadium, zoals door de drone-industrie; maar dat zal niet het geval zijn bij CAT-operaties. De uiteindelijke stap naar autonomie zal hoogstwaarschijnlijk zelfs na 2050 worden uitgesteld, gezien de huidige stand van de techniek van AI-technologieën.

Toekomstige ontwikkelingen

De tijdslijn die is verbonden met de drie stappen zou dus als volgt kunnen zijn:

- 1) Menselijke assistentie (2023-2025+);
- 2) Samenwerking tussen mens en AI (2025-2035+);
- 3) Geavanceerde automatisering en autonome AI (2035-2050+).

Zoveel mogelijk van de *AI Roadmap* van EASA resultaten worden netjes in fase gebracht met de routekaarten die echt bestaan. Fase 1 heeft het jaar 2021 geopend met de publicatie van de eerste richtlijnen van Level 1, gevolgd door richtlijnen voor Level 2 in 2023. Fase 3 van dit proces zal waarschijnlijk richtlijnen voor Level 3 produceren in 2025 en de afrondingsplannen van het EASA AI/ML-beleid worden geschat op het jaar 2028/2029.



Figuur 45: Stakeholders en *AI Roadmap* voor de komende jaren

Algemeen besluit

U hebt nu een goede basis met betrekking tot de toepassing van AI in vliegtuigonderhoud. Zoals ik eerder al schreef, is het doel van AI in vliegtuigonderhoud om de kosten, veiligheid, downtime, werkdruk en andere aspecten te verbeteren. Bovendien kunnen we concluderen dat er enkele spannende ontwikkelingen op komst zijn in dit vakgebied voor de toekomst.

Persoonlijk heb ik in dit thema veel geleerd. Ik had niet kunnen denken dat de toepassingen van AI in vliegtuigonderhoud zo'n breed scala zou zijn, en dit maakt het aspect van vliegtuigonderhoud voor mij veel interessanter. Ik ben zeer positief over het toekomstige gebruik van de AI in de komende jaren en de veranderingen die het zal introduceren. Mijn verwachting is dat er op een gegeven moment volledig geautomatiseerde projecten in de hangar zullen zijn, wat wederom een enorme stap voorwaarts zou zijn voor de efficiëntie van vliegtuigonderhoud.

Bibliografie

- Aeroclass. (2023, Juni 16). *Info over "Aviation MRO Business Models | Aeroclass Lessons"*. Opgehaald van <https://www.youtube.com/watch?v=wtO58FdCqX4>
- Aerogility. (2023). *Info over "Aerogility's platform"*. Opgeroepen op Mei 6, 2024, van <https://www.aerogility.com/>
- AI by Example. (2022, November 25). *Info over "De geschiedenis van Artificial Intelligence"*. Opgehaald van <https://www.aibyexample.be/news-items/de-geschiedenis-van-artificial-intelligence#:~:text=De%20geboorte%20van%20de%20robot,%E2%80%9D%2C%20afgekort%20R.U.R.%2C%20neerpent>
- Becuwe, I. (2021). *Vliegtuigonderhoud - MRO*.
- Coleman, K. (2022, April 2). *Info over "Use Case: Machine Learning for Predictive Maintenance in Aviation"*. Opgehaald van <https://www.odysight.ai/articles/aviation/machine-learning-use-cases-for-condition-based-monitoring-and-predictive-maintenance-in-aviation/>
- Connectar. (2015, December 9). *Info over "MRO.AIR - Artificial Intelligent Reality"*. Opgehaald van <https://www.youtube.com/watch?v=MYddQcSEXbQ>
- de Bree, S. (2023, Oktober 27). *Info over "Impact of AI on aircraft airworthiness management and maintenance"*. Opgehaald van <https://www.linkedin.com/pulse/impact-ai-aircraft-airworthiness-management-sander-de-bree-gdljc/>
- Engler Modic, E. (2014, December). *Info over "Structural health monitoring"*. Opgehaald van [https://www.aerospacemanufacturinganddesign.com/article/amd1114-structural-health-monitoring-sensors/#:~:text=Structural%20health%20monitoring%20\(SHM\)%20uses,signal%20the%20need%20for%20maintenance](https://www.aerospacemanufacturinganddesign.com/article/amd1114-structural-health-monitoring-sensors/#:~:text=Structural%20health%20monitoring%20(SHM)%20uses,signal%20the%20need%20for%20maintenance)
- European Commission. (2019, April 9). *Info over "Ethics guidelines for trustworthy AI"*. Opgeroepen op Mei 15, 2024, van <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/ethics-guidelines-trustworthy-ai>
- European Data Protection Supervisor. (2023, November 16). *Info over "TechDispatch #2/2023 - Explainable Artificial Intelligence"*. Opgehaald van https://www.edps.europa.eu/data-protection/our-work/publications/techdispatch/2023-11-16-techdispatch-22023-explainable-artificial-intelligence_en
- Europees Parlement. (2021, Maart 29). *Info over "wat is artificiële intelligentie en hoe wordt het gebruikt"*. Opgehaald van <https://www.europarl.europa.eu/topics/nl/article/20200827STO85804/wat-is-artificiele-intelligentie-en-hoe-wordt-het-gebruikt>
- EXSYN. (sd). *Info over "NEXUS"*. Opgeroepen op April 24, 2024, van <https://www.exsyn.com/products/nexus>

- Fawad, M., Salamak, M., Poprawa, G., Koris, K., Jasinski, M., Lazinski, P., . . . Gerges, M. (2023). *Automation of structural health monitoring (SHM) system of a bridge using BIMification approach and BIM-based finite element model development*.
- Flix Software. (sd). *Info over "Corrective Maintenance"*. Opgeroepen op April 3, 2024, van <https://fiixsoftware.com/glossary/corrective-maintenance/>
- FlyAlliance. (2023, Juni 21). *Info over "What Is an MRO in Aviation? Get Your Aircraft Flight-Ready"*. Opgehaald van <https://flyalliance.com/mro-in-aviation/>
- Graham, A. (2024, Mei 3). *Info over "AI in Aviation Maintenance: How It's Changing the Industry"*.
- Guraksin, A. M., & Ozcan, A. (2022). *ACO-based approach for integrating product lifecycle management*. Duitsland: Springer-Verlag GmbH Germany.
- Hangar Flying. (2023, November 21). *Info over "Erla-loods voor vliegtuigonderhoud WOII"*. Opgehaald van <https://www.hangarflying.eu/erfgoed/sites/erla-loods-voor-vliegtuigonderhoud-woii/>
- IBM. (sd). *Info over "What is explainable AI?"*. Opgeroepen op Mei 6, 2024
- Industrie Vandaag. (sd). *Info over "Kunstmatige Intelligentie in robotica"*. Opgeroepen op Maart 29, 2024, van [https://industrievandaag.nl/kunstmatige-intelligentie-in-robotica/#:~:text=Kunstmatige%20Intelligentie%20\(AI\)%20biedt%20grote,toepassingsgebied%20dan%20algemeen%20wordt%20aangenomen](https://industrievandaag.nl/kunstmatige-intelligentie-in-robotica/#:~:text=Kunstmatige%20Intelligentie%20(AI)%20biedt%20grote,toepassingsgebied%20dan%20algemeen%20wordt%20aangenomen)
- Kejiriwal, K. (2023, Juli 21). *Info over "Beeldherkenning vs. Computervisie: wat zijn de verschillen?"*. Opgehaald van <https://www.unite.ai/nl/image-recognition-vs-computer-vision/>
- Kinnison, H., & Siddiqui, T. (2013). *Aviation Maintenance Management*. Verenigde Staten van Amerika: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- KLM. (sd). *Info over "PROGNOS - Predictive maintenance"*. Opgeroepen op Mei 21, 2024, van <https://www.afiklmem.com/en/solutions/about-prognos>
- Lufthansa Group. (sd). *Info over "AI Drone Inspection"*. Opgeroepen op Juni 4, 2024, van <https://innovation-runway.lufthansagroup.com/en/focus-areas-projects/operations-excellence/ai-drone-inspect.html>
- Lufthansa Technik. (sd). *Info over "AVIATAR - The digital operations suite"*. Opgeroepen op Mei 25, 2024, van <https://www.lufthansa-technik.com/en/aviatar>
- NEXUS. (sd). *Info over "AVILYTICS: Aircraft Reliability Monitoring and Predictive Maintenance Software Solution"*. Opgeroepen op April 24, 2024, van <https://www.exsyn.com/products/avilytics>
- Pegamento. (sd). *Info over "Artificial Intelligence: beeldherkenning"*. Opgehaald van <https://www.pegamento.nl/computer-vision/artificial-intelligence-beeldherkenning/>
- Pita, O. (sd). *Introduction to Aircraft Maintenance Programs*. European Union Aviation Safety Agency - EASA.

- Ramco. (sd). *Info over "Maintenance, Repair and Overhaul (MRO)"*. Opgeroepen op April 24, 2024, van https://www.ramco.com/products/aviation-software/maintenance-repair-and-overhaul/?utm_source=google_adwords&utm_campaign=aviation_search_europe&utm_term=aircraft%20maintenance&utm_campaign=Aviation-Search-Europe&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_tgt=k
- Redactie Nederlands (Freshworks blog). (2021, Juli 15). *Info over "Deep Learning vs. Machine Learning: wat is het verschil?"*. Opgehaald van <https://www.freshworks.com/nl/deep-learning-vs-machine-learning-blog/>
- Reed, J. (sd). *Info over "Advanced Technologies Improve MRO Efficiency"*. Opgeroepen op Mei 1, 2024, van <https://interactive.aviationtoday.com/avionicsmagazine/march-april-2023/advanced-technologies-improve-mro-efficiency/>
- Sasidharan, M. (2023, Maart 11). *Info over "How Artificial Intelligence (AI) is Revolutionising Aircraft Maintenance in the Aviation Industry"*. Opgehaald van <https://www.linkedin.com/pulse/how-artificial-intelligence-ai-revolutionising-aircraft-murugan/>
- Satyen, I. (2023, Juli 19). *Info over "Explainable AI (XAI)"*. Opgehaald van <https://www.linkedin.com/pulse/explainable-ai-xai-ishad-satyen/>
- SKYbrary. (sd). *Info over "Central Maintenance Computer (CMC)"*. Opgeroepen op Mei 2, 2024, van <https://skybrary.aero/articles/central-maintenance-computer-cmc>
- Team DigitalDefynd. (2024). *Info over "Use of AI in the Aviation Industry [5 Case Studies][2024]"*. Opgeroepen op Mei 27, 2024, van <https://digitaldefynd.com/IQ/ai-aviation-industry-case-studies/>
- Trendskout. (sd). *Info over "De top 3 voorbeelden van computer vision in de maakindustrie"*. Opgehaald van <https://trendskout.com/nl/solutions/top-3-voorbeelden-van-computer-vision-in-de-maakindustrie/#:~:text=Computer%20vision%20is%20gericht%20op,wordt%20in%20een%20industri%C3%ABle%20omgeving>
- Tui Airline Comms. (2023, December 15). *Info over "TUI Airline E&M explores drone technology for more efficient and safer maintenance operations"*. Opgeroepen op Juni 3, 2024, van <https://www.tuismile.com/en/news/tui-airline-em-explores-drone-technology-more-efficient-and-safer-maintenance-operations>
- TUI Airline Comms. (2024, Februari 8). *Info over "Collaborative efforts between TUI Airline E&M and Cranfield University"*.
- Van Veen, J. (sd). *Info over "Wat is natuurlijke taalverwerking (NLP)?"*. Opgeroepen op Maart 28, 2024, van <https://www.bi.nl/business-intelligence/wat-is-natuurlijke-taalverwerking-nlp/>
- Vienožindyte, I. (2022, Juni 27). *Info over "Wat is beeldherkenning: de risico's en mogelijkheden"*. Opgehaald van

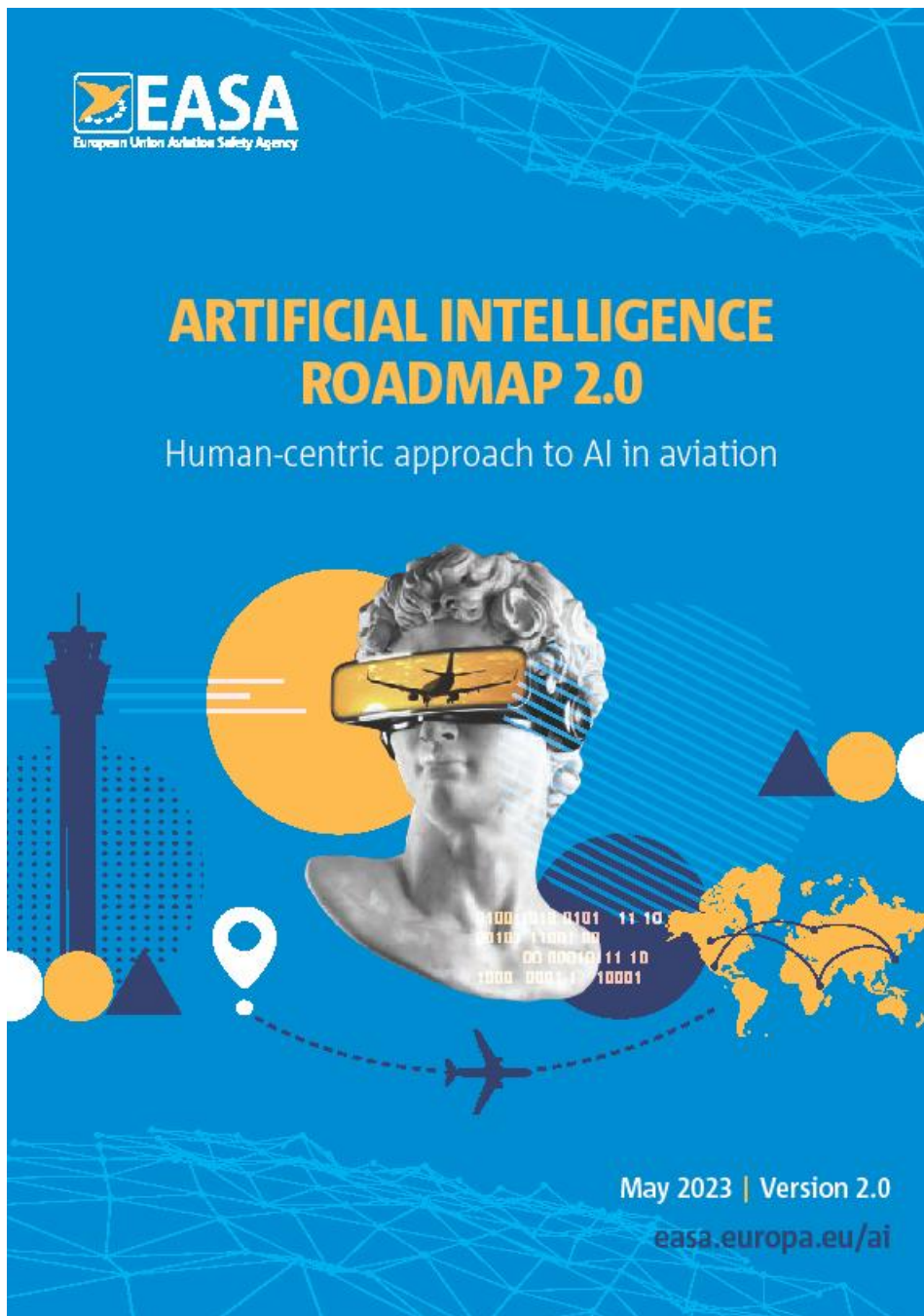
[https://nordvpn.com/nl/blog/beeldherkenning/#:~:text=Beeldherkenning%20of%20Image%20Recognition%20\(IR,machinaal%20leren%20en%20neurale%20netwerken](https://nordvpn.com/nl/blog/beeldherkenning/#:~:text=Beeldherkenning%20of%20Image%20Recognition%20(IR,machinaal%20leren%20en%20neurale%20netwerken)

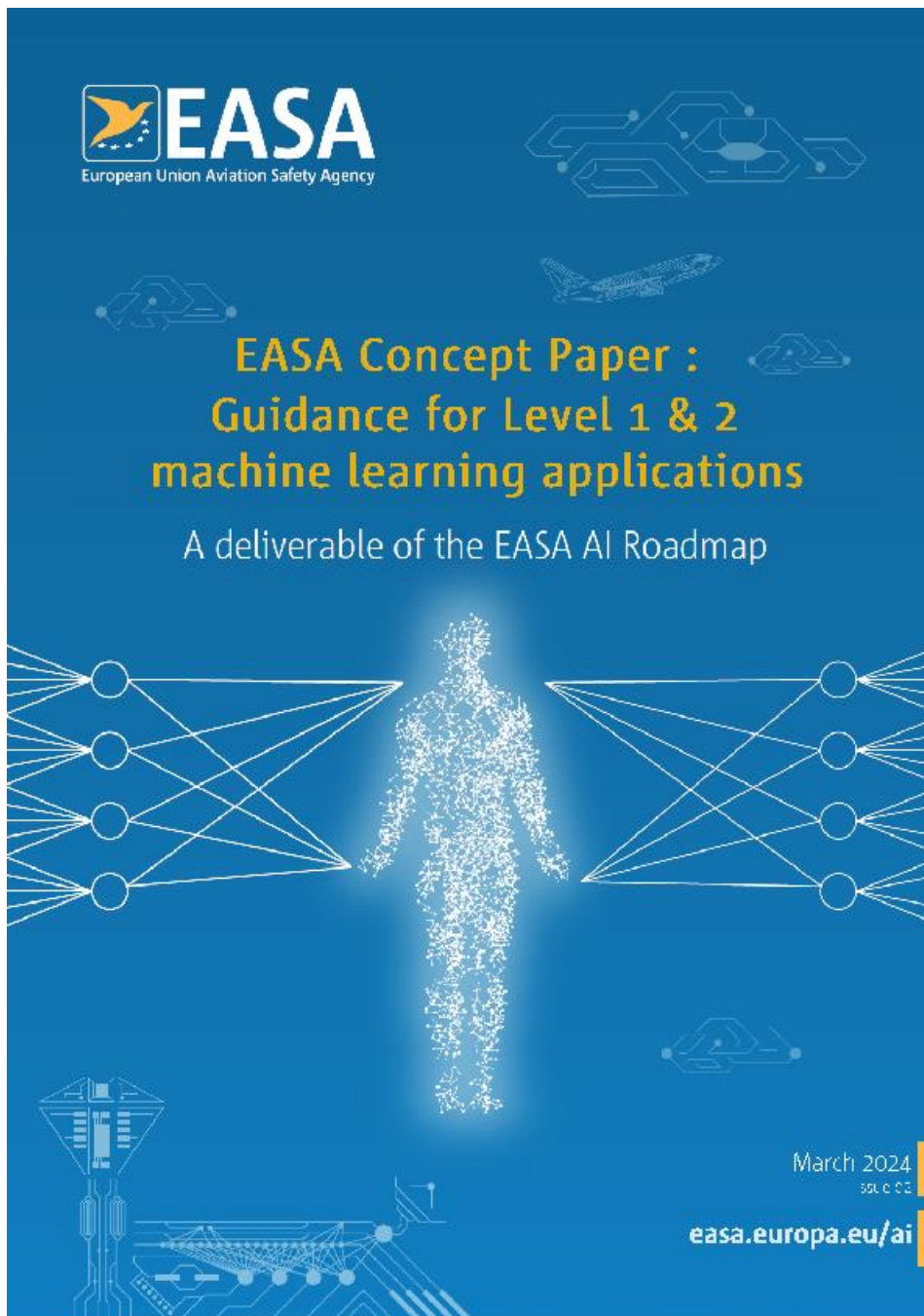
VVf. (2023, Mei 10). *Info over "Nieuwe tool AkzoNobel zorgt voor vliegtuigonderhoud op maat"*. Opgehaald van <https://www.vvf.nl/cms/showpage.aspx?id=6350>

WorkingTalent. (sd). *Info over "Alles over Natuurlijke Taalverwerking: Wat is NLP?"*. Opgeroepen op Maart 28, 2024, van <https://www.workingtalent.nl/wat-is-nlp>

Bijlagen









International Civil Aviation Organization
WORKING PAPER

A41-WP/605
 EX/282
 28/8/22
 (Information paper)
 English only

ASSEMBLY — 41ST SESSION
EXECUTIVE COMMITTEE

Agenda Item 23: Innovation in Aviation

DIGITALIZATION, ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) IN AVIATION AND THE HUMAN FACTOR

(Presented by Hermes – Air Transport Organisation)

EXECUTIVE SUMMARY

The aviation industry collects huge quantities of data when, combined with algorithms that convert the data into usable information, represent significant opportunities to the industry. Digital transformations are often accomplished through artificial intelligence (AI). AI integrates input devices with algorithms to allow ‘intelligent’ actions to be decided. Hermes asked for contributions from aviation industry trade associations to determine the most important uses for AI and digital technologies. These include: improving maintenance repair and overhaul procedures; revolutionizing training, for example through virtual reality devices; facilitating cargo movement with autonomous vehicles; increasing capacity through improved air traffic management; enhancing flight safety; increasing the efficiency of aircraft operations; improving revenue management; and enhancing the customer experience. However, implementing these technologies to facilitate industry operations requires industry-wide standards and procedures, as well as significant workforce training. Therefore, Hermes recommends ICAO take the lead in providing clear definitions and objectives for industry and potentially a roadmap for the implementation of AI and digital technologies. Moreover, training and development focusing on digital skills and practices should be implemented immediately in the industry.

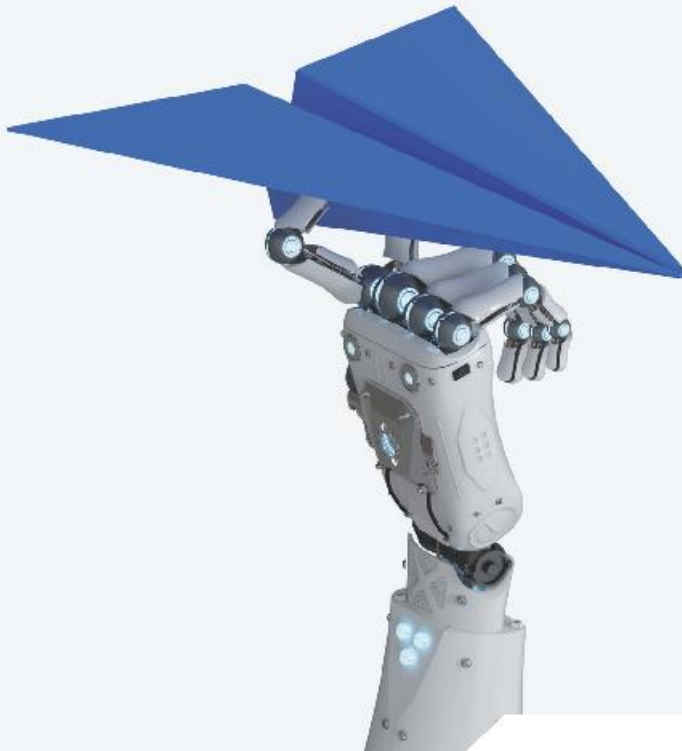
<i>Strategic Objectives:</i>	This working paper relates to all Strategic Objectives.
<i>Financial implications:</i>	
<i>References:</i>	

EUROPEAN AVIATION ARTIFICIAL
INTELLIGENCE HIGH LEVEL GROUP

The FLY AI Report

Demystifying and Accelerating AI in Aviation/ATM

5th March 2020



WITH INPUTS FROM EDA MILITARY EXPERTS AND NATO ATTENDING IN AN OBSERVING CAPACITY



campus Brugge Xaverianenstraat

Xaverianenstraat 10

050 30 51 00

campus.brugge@vives.be

campus Brugge Station

Spoorwegstraat 12

050 40 59 00

campus.brugge@vives.be

campus Kortrijk

Doorniksesteenweg 145

056 26 41 60

campus.kortrijk@vives.be

campus Oostende Station

Lijndraaiersstraat 60

059 56 90 00

campus.oostende@vives.be

campus Oostende VLOC

Nieuwpoortsesteenweg 945c

059 30 81 50

campus.oostende@vives.be

campus Roeselare

Wilgenstraat 32

051 23 23 30

campus.roeselare@vives.be

campus Torhout

Sint-Jozefstraat 1

050 23 10 30

campus.torhout@vives.be

www.vives.be