



Accelerating
the future
of aerospace

Impactrapportage 2024

KENNIS OMZETTEN IN WAARDE





05 Voorwoord



Projecten



68 Over NLR



71 Colofon

VERWIJZING OVERHEIDSBELEID

- IKIA Klimaat en Energie (missie/MMIP-nummer)
- Kennisagenda Luchtvaart (kennisgebied)
- Defensievisie 2035 (inrichtingsprincipe)
- Langetermijn Ruimtevaartagenda (missie)
- Sleuteltechnologieën (categorienummer)
- KIA Digitalisering (digitale- en informatietechnologieën)

07	Waterstof in de verduurzaming van luchtvaart	17	Milieu-impact van low-carbon technologieën	29	Geluid van vliegen in de stad	41	Sterk vertrouwen in Europees satellietstelsel	51	Digitaal oefenterrein voor moderne conflicten	61	Waarborgen inzetbaarheid Luchtmacht
11	Fundament voor 'groen' vliegen in 2050	21	Concrete oplossingen voor autonome drones	32	Nieuwe vliegtuigen voor klimaatneutraliteit	43	Regels voor ruimtelijk niemandsland	53	Anticiperen op hypersonische raketten	65	Slim gebruik van radardata
15	Ontdekkingsreis naar ultraklein en dun materiaal	25	Energiezuinig en lichtgewicht communicatienetwerk	37	Innovatieve inspectiemethoden	47	Lichtere materialen en recycling in de luchtvaart	57	Verduurzaming van Defensie		

NLR-impactrapportage 2024

Als toegepast onderzoeksorganisatie op het gebied van lucht- en ruimtevaart, heeft NLR een centrale positie in het valorisatieproces om kennis om te zetten in waarde. Ons doel daarbij is dat ons onderzoek resulteert in impactvolle toepassingen voor maatschappij en economie.

NLR zet zich ervoor in om kansrijke ideeën om te vormen naar concrete toepassingen. Dat doen we niet alleen. Met steun van de overheid vormen universiteiten, kennis- en onderzoeksinstituten en technologiebedrijven, allemaal een wezenlijke schakel om toepasbare innovaties om te zetten in een toegevoegde waarde voor de Nederlandse economie in het belang van een duurzame samenleving.

Hiermee samenhangend is in 2024 NLR met regelmaat in de media benoemd. Online ging het daarbij om zo'n 200 publicaties. In de Nederlandse (regionale) nieuwsmedia lag daarbij de nadruk veelal op vraagstukken over de gezonde balans tussen welvaart en welzijn, en op beperking van milieueffecten. Ook ging het regelmatig over de huidige geopolitieke spanningen met een steeds prominenter rol voor drones en ruimtevaart. In vakmedia kwamen ook onderwerpen aan bod, die nog even op zich laten wachten voordat ze impact maken in ons dagelijkse leven. Denk daarbij aan lichtere materialen, alternatieven voor kerosine en elektrificatie

om de luchtvaart in de toekomst duurzamer te maken. Naast de media-uitingen belichten we ook graag zelf belangrijke ontwikkelingen ten behoeve van duurzaamheid en een veilige samenleving. In deze impactrapportage kunt u daarom verscheidene artikelen lezen die samen een impressie geven van prominente onderzoeken uit 2024. We leggen ook de link met het bedrijfsleven, waarbij startups en scale-ups belangrijke spelers zijn voor de groei van onze economie. Hun dynamiek voor nieuwe bedrijvigheid en hoogwaardige werkgelegenheid versterkt de Nederlandse kennispositie.

Door een goede samenwerking en een optimaal gebruik van onze expertise en faciliteiten, maken we het mogelijk om samen snel benodigde oplossingen te kunnen bieden voor de uitdagingen waar we als maatschappij voor staan gesteld.

Ik wens u veel leesplezier.

Michel Peters, Algemeen directeur



Michel Peters
Algemeen directeur

STRATEGISCHE THEMA'S



DUURZAME LUCHTVAART

Om een klimaatneutrale luchtvaart mogelijk te maken is het nodig om in te zetten op radicale innovaties

[\[lees meer... \]](#)



COMPETITIEVE LUCHT- EN RUIMTEVAART

In de aanpak van leefomgeving, bereikbaarheid en duurzaam luchttransport ontstaan nieuwe producten en markten

[\[lees meer... \]](#)



VEILIGE SAMENLEVING

Een technologisch hoogwaardige krijgsmacht is van essentieel belang

[\[lees meer... \]](#)

*“Door actieve betrokkenheid
beïnvloedt Nederland
de koers van de sector”*



Internationale standaarden vormen kompas voor duurzame luchtvaarttransitie

Een duurzame luchtvaart is geen verre toekomstdroom, maar een noodzaak waar de sector vandaag al mee aan de slag moet. Binnen Europa speelt de *European Organisation for Civil Aviation Equipment* (EUROCAE) een cruciale rol bij het opstellen van standaarden die deze transitie mogelijk moeten maken. 250 experts, ondernemers, beleidsmakers en onderzoeken uit Europa, Amerika, Japan en Korea werken binnen Werkgroep 80 aan standaarden over de opslag van waterstof in gas- en vloeibare vorm en over de toepassing van brandstofcellen voor de voortstuwing van vliegtuigen. De uitkomsten van dit werk bepalen in hoge mate hoe waterstof een rol kan spelen in de verduurzaming van de wereldwijde luchtvaart.

Werkgroep 80 (WG80) werkt samen met *SAE International* – de Amerikaanse counterpart van EUROCAE –, internationale luchtvaartautoriteiten (EASA, FAA, CAA) private bedrijven en onderzoeksinstanties uit Europa, Amerika, Japan en Korea, aan drie standaarden om de toepassing van waterstof in de luchtvaart mogelijk te maken. De uitkomsten van dit werk bepalen in hoge mate hoe waterstof een rol kan spelen in de verduurzaming van de wereldwijde luchtvaart.

vormen de basis voor certificering en regelgeving. Dit is onmisbaar voor de certificatie en implementatie van nieuwe technologieën.” Door actieve betrokkenheid blijft Nederland niet alleen op de hoogte van de nieuwste ontwikkelingen, maar beïnvloedt het ook de koers van de sector. Zo kunnen kennisinstellingen en bedrijven vooroplopen in de ontwikkeling van waterstoftechnologieën.

Roel van Benthem is senior R&D engineer bij NLR betrokken bij WG80. “Het komt er op neer dat wij een standaard ontwikkelen voor de aandrijflijn van waterstof voor passagiersvliegtuigen. Dat wil zeggen: van de opslag van waterstof tot en met het afleveren van elektrische energie aan de motoren. Deze standaarden

NLR is niet zomaar een deelnemer aan deze werkgroep. Naast het feit dat er meerdere onderzoekers inhoudelijke bijdrage leveren op het gebied van luchthaveninfrastructuur, de ontwerpeisen voor waterstof, veiligheid en vliegtuigonderhoud, heeft Van Benthem de leiding over de standaard voor toepassing van brandstofcellen. Deze cellen zetten waterstof direct om in elektrische energie.



Over tien jaar vliegen we in toestellen die worden voortgestuwd door waterstof

Terwijl zijn medeleerlingen een spreekbeurt geven over hun cavia of zeehondjes, kiest de twaalfjarige Roel van Benthem kernenergie als onderwerp. “Zo lang ik me kan herinneren, wil ik weten hoe dingen in elkaar zitten. Ik ben altijd met techniek bezig geweest.”

Echt een verrassende keuze is het dus niet, als hij van Lelystad naar Enschede verhuist om toegepaste natuurkunde te studeren in de jaren 80. Hij studeert af op de fysica van lage temperaturen aan de Universiteit Twente. Na zijn studie gaat Roel aan de slag op de afdeling ruimtevaart van vliegtuigfabrikant Fokker, waar hij onderzoek doet naar thermische regelsystemen voor één- en tweefasen koeling. Oftewel: hoe zorg je ervoor dat je de warmtehuishouding in een ruimtevaarttuig kunt regelen onder de extreme omstandigheden die in de ruimte heersen.

Het (ambitieuze) doel van WG80 is om hun grondige review van toepassing van brandstofcellen in 2026 te publiceren. Dit is niet alleen belangrijk voor de internationale luchtvaartindustrie, maar ook voor de positie van Nederland als innovatief en concurrerend luchtvaartland.

Waterstof in de luchtvaart: kansen en uitdagingen

Groene waterstof wordt wereldwijd gezien als een veelbelovende duurzame energiebron voor de luchtvaart. Het biedt een manier om vliegtuigen emissievrij te laten vliegen, mits het net zo veilig en efficiënt kan worden toegepast als op dit moment het geval is voor de huidige generatie kerosinevliegtuigen. “We richten ons op vragen als: Hoe kunnen we waterstof veilig opslaan in vliegtuigen? Welke materialen zijn geschikt, gezien de kleine moleculaire structuur van waterstof en de risico’s op materiaalverzwakking door extreme condities, zoals extreem lage temperaturen of hoge druk? En: welke testprocedures zijn nodig om de veiligheid en betrouwbaarheid van waterstofsysteem te garanderen?”, vertelt Van Benthem.

Een groot deel van deze discussie draait om balans: hoe stel je eisen op die enerzijds streng genoeg zijn voor de veiligheid, maar anderzijds ruimte laten voor innovatie? “We willen standaarden die generiek genoeg zijn om verschillende oplossingen mogelijk te maken, zonder de productontwikkeling van fabrikanten te beperken,” legt de projectleider uit.

Deelname aan dit soort werkgroepen spelen een

belangrijke rol bij het overbruggen van het gat tussen fundamenteel onderzoek en commerciële toepassing. Veelbelovende technologieën stranden vaak in deze fase omdat er onvoldoende duidelijkheid is over de eisen waaraan ze moeten voldoen. Door te werken aan standaarden helpt NLR bedrijven om sneller en efficiënter deze nieuwe markt te kunnen betreden.

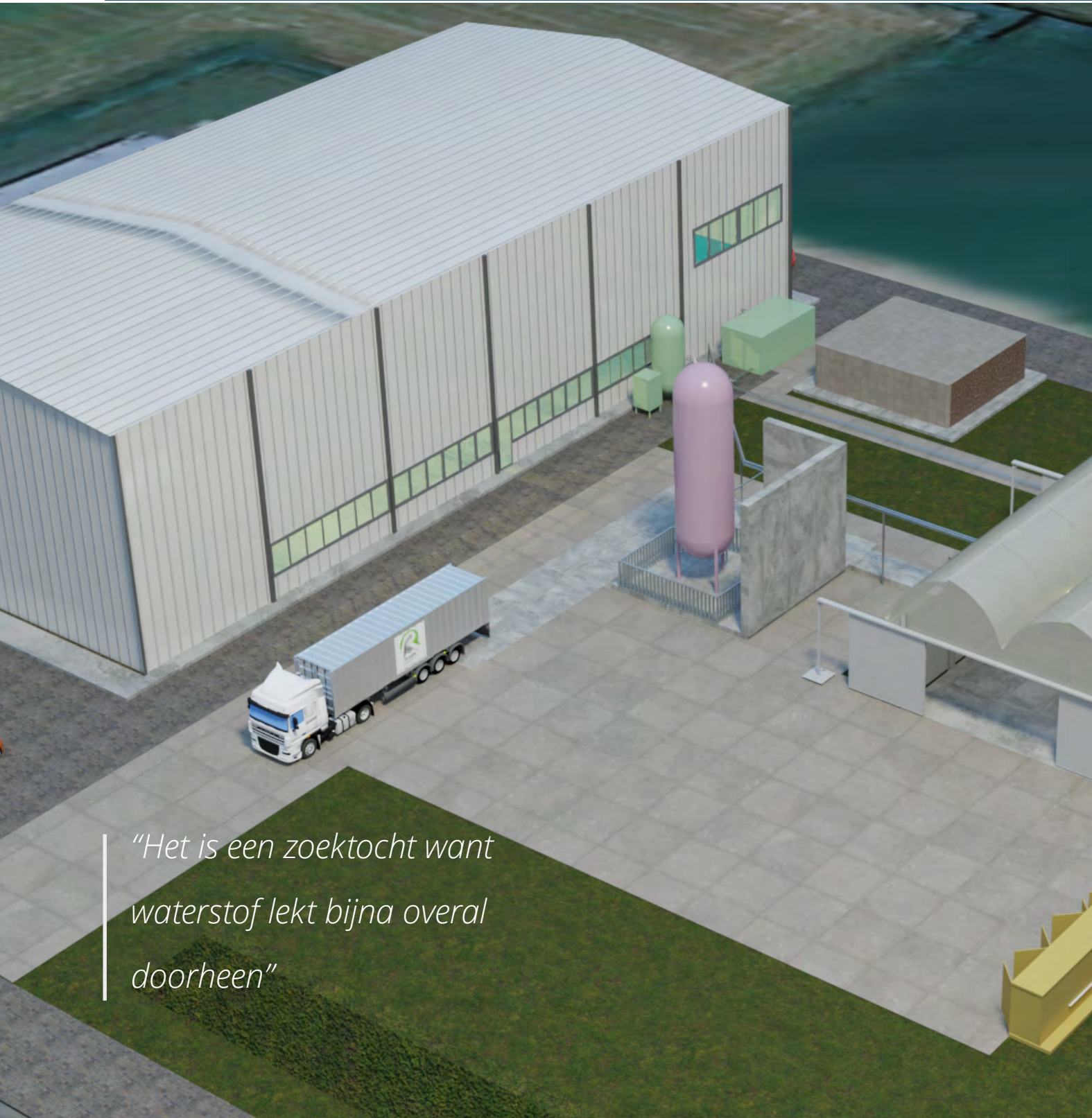
“Als wij er niet bij zouden zijn, zou Nederland simpelweg niet weten wat er speelt op dit gebied,” zegt Van Benthem. “Wij kunnen bedrijven helpen om op een effectieve manier deel te nemen en hun innovaties sneller naar de markt te brengen.”

De toekomst: testen en certificeren

Naast de standaardisatie speelt NLR ook een rol in de volgende stap: testen en certificeren. Nieuwe technologieën moeten niet alleen op papier veilig zijn, maar ook in de praktijk beproefd worden. NLR beschikt over testfaciliteiten en werkt aan de ontwikkeling van nieuwe infrastructuur om waterstofsysteem grondig te kunnen testen. Van Benthem: “We zien wereldwijd dat er een gebrek is aan geschikte testfaciliteiten voor waterstof in de luchtvaart. Door onze betrokkenheid bij WG80 weten wij welke eisen eraan gesteld gaan worden en kunnen we daar vroegtijdig op inspelen.”

De senior engineer is onderdeel geworden van de werkgroep omdat hij impact wil maken. “Ik kan op deze manier een relevante bijdrage leveren aan het verduurzamen van de luchtvaart. Wat frustrerend is, is dat het opstellen van standaarden erg langzaam verloopt; we moeten op alle punten consensus bereiken. Maar het einddoel motiveert mij enorm; ik zie dat we stap voor stap steeds dichterbij een duurzamere luchtvaart komen.”

PERIODE
Doorlopend
PROJECT
EUROCAE WG80 (deelname standaardisatiewerkgroep)
STRATEGISCH THEMA
Duurzame luchtvaart
NLR-KENNISPROGRAMMA
Klimaat neutrale luchtvaart
OVERHEIDSBELEID
Kennisagenda luchtvaart (7,9); IKIA Klimaat en Energie (D+9)



“Het is een zoektocht want waterstof lekt bijna overal doorheen”

Het fundament voor groen vliegen in 2050

In de zoektocht naar alternatieve energiedragers voor fossiele brandstoffen komen vele concepten langs. Een van dé vragen bij grote vliegtuigen waarmee we verre afstanden afleggen, is: wat kan vliegen op waterstof betekenen? “Er zijn ideeën zat”, zegt Paul Arendsen, leider van de afdeling *Structures Testing and Evaluation* binnen NLR. “Maar we moeten het wel kúnnen bouwen.”

Het is belangrijk om een concept vroegtijdig te kunnen testen. Dat geldt ook voor het idee om met waterstof te vliegen. Omdat een dergelijke testfaciliteit nog ontbreekt, startte NLR in 2023 met de bouw van een *Energy to Propulsion Test Facility* (EPTF). Hiermee is NLR een van de eerste ter wereld die grootschalig testen met vliegen op (vloeibare) waterstof mogelijk maakt.

“We onderzoeken op diverse fronten de mogelijkheden van waterstof als energiedrager voor de toekomst van de luchtvaart”, zegt Arendsen. “Dat is ideëel gedreven vanuit duurzaamheid, maar we willen als NLR ook de Nederlandse luchtvaartindustrie helpen in de economische ratrace van die ontwikkeling.”

Showstoppers

Vliegen op waterstof kent meerdere uitdagingen. Zo is er het vraagstuk van energiemangement. “Als een vliegtuig vliegt op een waterstof-elektrische aandrijflijn, dan heeft het voor de voortstuwing brandstofcellen nodig – en die worden warm. Eén megawatt aan

voortstuwingsvermogen betekent ook één megawatt warmte. Het is dus belangrijk dat die warmte het vliegtuig ook weer uit gaat. Maar hoe? Met een ouderwetse gasturbine verdwijnt die warmte via de uitlaat naar buiten, met brandstofcellen blijft het in het vliegtuig.”

Als tweede showstopper noemt Arendsen het vervoeren van waterstof zelf. “De enige optie die zou kunnen werken, is vliegen met vloeibare waterstof.” Waterstof wordt vloeibaar door het af te koelen naar -253°C . Arendsen: “De temperatuur laten zakken naar bijna het absolute nulpunt, brengt dus ook weer allerlei vragen met zich mee. Want wat gebeurt er bijvoorbeeld wanneer het vliegtuig op een warme plek in de zon staat?”

Nog een belangrijke vraag: waar moet de tank waarin de vloeibare substantie zich bevindt, van gemaakt worden? “Het materiaal van de tank moet licht en dun zijn en extreme temperaturen aankunnen. Maar, waterstof is een ontzettend kleine molecuul en lekt dan bijna overal doorheen. Dat is dus een hele zoektocht.”

Testen van de hele powertrain

De hele zogenoemde aandrijflijn moet ergens worden getest. “Vanaf de koude vloeibare waterstof in de tank naar de warme gasvorm waar het als brandstof dient voor de brandstofcel die vervolgens weer de elektromotor aandrijft. Die hele bak met mechanica en prachtige andere dingen is een *powertrain*. Alle onderdelen moeten worden getest.”

Alleen berekeningen maken en voorspellingen doen, is niet genoeg, zegt Arendsen. “Wat als een vliegtuig ineens in een duikvlucht terechtkomt, waardoor het niet meer horizontaal vliegt maar verticaal? Is er dan nog genoeg power? En wat gebeurt er als de tank gaat schudden? De EPTF is bedoeld om dit soort scenario’s te kunnen testen. Het is vooral onderzoeken wat er gebeurt als we alle onderdelen aan elkaar koppelen.”



Eerste ter wereld

Er komt heel wat kijken bij het opzetten van de testfaciliteit. “NLR is een van de eerste ter wereld die zo’n faciliteit bouwt. Er bestaat dus geen handleiding die we kunnen volgen. We moeten autoriteiten, zoals de Omgevingsdienst Noordzeekanaal, meenemen in onze zoektocht.”

Uiteindelijk wordt het testcentrum 60 bij 60 meter groot; met een bebouwde oppervlakte van 17 bij 17 meter, die extreem kan worden geopend om te ventileren tijdens de tests. Naast vloeibare waterstof en een voldoende krachtige (bi-directionele) elektra-aansluiting worden testen ondersteund met hydrauliek, pneumatiek, vloeibare en gasvormige stikstof, en gasvormige waterstof. Een wal beschermt tegen geluidshinder en voorziet in privacy voor de vaak commercieel belangrijke te testen systemen.

Smacht

Arendsen merkt dat er met smacht wordt uitgekeken naar de opening van de faciliteit, welke hij eind 2025 verwacht. “We zijn onderdeel van verschillende Europese projecten, zoals [HYPOTRADE](#) en [COCOLIH2I](#). Ook is de EPTF al ingeroosterd voor een aantal Nationale Groeifonds-projecten.” Daarnaast heeft de eerste significante test al plaatsgevonden. “Dat was in een HYPOTRADE-project waarbij een 110 kilowatt brandstofcel periodiek aan een aantal testen is onderworpen.” In september testen Arendsen en zijn team een composiet waterstoftank voor vloeibaar waterstof.

“We begeven ons op onontgonnen terrein en ontwerpen testen die nog niet eerder mogelijk waren. Zoals het testen van materialen bij -253°C. Dat is echt uniek. Alles bij elkaar is het een prachtige weg. Met de EPTF werken we aan het fundament voor groen vliegen in 2050.”



PERIODE

2023 - eind 2025

NL PROJECTPARTNERS

intern gefinancierd

STRATEGISCH THEMA

Duurzame luchtvaart

NLR-KENNISPROGRAMMA

Klimaat neutrale luchtvaart

OVERHEIDSBELEID

IKIA Klimaat en Energie

(D+9)

PERIODE

2023 - 2026

NL PROJECTPARTNERS

TNO, Dawn Aerospace

EU PROJECTPARTNERS

<https://www.giance-project.eu/consortium/>
(DAWN, Boeing zijn al directe WP partners)

STRATEGISCH THEMA

Duurzame luchtvaart

NLR-KENNISPROGRAMMA

Opkomende technologieën

OVERHEIDSBELEID

Sleuteltechnologieën

(1. Advanced materials)

“Grafeen is ultra klein en dunner dan een haar”

Grafeen als silver bullet voor de lucht- en ruimtevaart

Pionieren met een veelbelovende, nieuwe technische ontwikkeling. “Dat is wat we bij NLR doen met grafeen”, zegt Ronald Klomp, R&D engineer bij NLR. Binnen het Europese project GIANCE werkt NLR samen met onder meer ruimtetransport-bedrijf Dawn Aerospace (Nederlandse/Nieuw Zeelands) en een Turkse divisie van Boeing aan hoogwaardige composieten voor de lucht- en ruimtevaart.

Het team van Klomp is erin geslaagd grafeen toe te voegen aan de hars voor composieten. De verwachtingen zijn hooggespannen. De mix van grafeen en hars zou moeten leiden tot ijzersterke, flinterdunne, extreem hittebestendige en lichte vliegtuigonderdelen. “We onderzoeken of het daadwerkelijk de *silver bullet* is voor de verduurzaming van de lucht- en ruimtevaart.”

De punt van een potlood is eigenlijk grafeen. Het is heel sterk, opgebouwd uit allemaal laagjes koolstof. De natuurkundigen hebben een heel dun laagje grafeen van een potlood gehaald met een plakband. Klomp: “Met deze vondst waren natuurlijk nog geen producten te maken, maar het was wel duidelijk dat het veel potentie had.”

Dun laagje potlood

Grafeen is 's werelds eerste tweedimensionale materiaal dat uit één enkele atoomlaag van koolstof bestaat. De atomen zijn in een honingraatstructuur met elkaar verbonden. Deze structuur maakt het materiaal dun, stijf doch flexibel, transparant en enorm sterk. Grafeen werd in 1947 ontdekt, maar pas in 2004 slaagden de natuurkundigen Andre Geim en Konstantin Seserggejevitsj Novoselov van *Manchester University* erin om er een kleine hoeveelheid ervan te produceren. Het tweetal ontving in 2010 de Nobelprijs voor hun onderzoek.

Vandaar dat de Europese Unie in 2013 startte met het onderzoeksinitiatief *Graphene Flagship*, om grafeen van het lab naar commerciële toepassingen te brengen. “Diverse partijen hebben over de jaren heen eigen methodes ontwikkeld om grafeen te maken, wat weer heeft geleid tot honderden varianten.” Zo zit het materiaal onder meer in coatings, verf, aanrechtbladen en batterijen. De eigenschappen van het materiaal zijn interessant voor bijvoorbeeld de autoindustrie, de energiesector en meer specifiek voor opslag van waterstof, en als toepassing in de lucht- en ruimtevaart, omdat het onder extreme omstandigheden in tact blijft.

Egale hars

In 2023 besloot de Europese Unie het onderzoek naar een hoger niveau te tillen met het GIANCE-project: *Graphene Alliance for Sustainable Multifunctional Materials to Tackle Environmental Challenges*. NLR werkt binnen GIANCE aan een hars dat is gemodificeerd met grafeen. Het materiaal wordt binnenkort getest op een testonderdeel dat is gebaseerd op de *unmanned vehicles* van Dawn Aerospace. “Dit shuttle-achtige voertuig brengt satellieten in een baan om de aarde. Het stijgt op, vliegt tot boven de dampkring, brengt de satelliet in omloop en vliegt weer terug”, legt Klomp uit. “Deze business case krijgt enorme hitte te verduren.”

Klomp en zijn team ontwikkelden het verwerkingsproces van de hars dat de voorranden van de vleugels en onderdelen van de motor hittebestendig moet maken. “Grafeen is ultra klein en dunner dan een haar. Het is moeilijk vast te pakken en als droog poeder lastig te verwerken. Daarom wordt het in een oplossing geleverd. Dit mengen wij met de hars.”

Omdat er door de jaren heen zo veel verschillende grafeensoorten zijn ontwikkeld, is het een enorme zoektocht om de optimale hars-grafeen verhouding te vinden, zegt Klomp. “Daarnaast is het een uitdaging om precies het goede percentage grafeen toe te voegen. Het moet niet te stroperig worden, maar mooi egaal. Het is ons gelukt om dat voor elkaar te krijgen. De vervolgstap is het te testen onder representatieve omstandigheden.”

Grafeen lijkt ook een goede geleider te zijn van warmte en elektriciteit. Wat een een uitkomst voor bliksembescherming zou betekenen. Samen met het Italiaanse Nanoprom, die de grafeen-gemodificeerde coatings maakt, ontwikkelt NLR voor Boeing Turkije een onderdeel voor aan de achterkant van de vleugel. “Wij weten hoe je thermoplast composiet verwerkt en hiervan onderdelen maakt. Met een Duitse partij kunnen we de gecoate thermoplast composietplaten op blikseminslag laten testen.”

Nationale aandacht

Naast de diepgaande technische kennis over grafeen, bouwt NLR door GIANCE een solide netwerk aan grafeenleveranciers op. “Wij weten wat er binnen Europa speelt. Als er vanuit de Nederlandse industrie een vraag komt over wat grafeen kan betekenen, kunnen wij dat bedrijf verder helpen.” De ontwikkeling van grafeen heeft op nationaal niveau veel aandacht, laat Klomp weten. Hij en zijn collega's zaten regelmatig aan tafel met belangrijke stakeholders uit de Nederlandse industrie. “We informeren hen waar we mee bezig zijn en zij laten ons weten wat hun behoeftes en vragen zijn.”

De toepassing van grafeen in de praktijk laat nog even op zich wachten, maar Klomp en zijn collega's leggen een bijzondere weg af. “Er valt nog zoveel te ontdekken. De tijd moet het leren of grafeen echt de silver bullet voor de luchtvaart is, maar onze verwachtingen zijn hoog.”

“We willen voorkomen dat we het ene milieuprobleem oplossen maar daarbij een andere veroorzaken”



De milieu-impact van alternatieven voor fossiele brandstoffen bepalen

Een vliegtuig dat vliegt op waterstof stoot geen CO₂ uit. Maar welke andere milieueffecten spelen een rol? Hoeveel impact heeft het produceren van zo'n nieuw soort vliegtuig? Of wat betekent het aan benodigde grondstoffen, bijvoorbeeld voor het maken van een waterstoftank? En hoe goed zijn de gebruikte materialen aan het eind van de levensduur van het vliegtuig te recyclen? Een levenscyclusanalyse (LCA) geeft antwoord op deze vragen. Wereldwijd maken sectoren als de bouw, de voedingsindustrie, de chemische industrie en de energiesector al veelvuldig gebruik van deze methode.

Voor de luchtvaart was dit tot zo’n tien jaar geleden nauwelijks een onderwerp van onderzoek. “Het was niet zo interessant om een LCA te maken van vliegtuigen die vliegen op kerosine”, zegt Daniël Kan, LCA-specialist bij NLR. “Het overgrote deel van de impact ontstaat tijdens de vlucht zelf. Vergeleken met de enorme hoeveelheid verbrande kerosine vallen de milieueffecten van het produceren van het vliegtuig in het niet. Dat geldt des te meer omdat deze vliegtuigen een levensduur van ruim 25 jaar hebben.”

Werken aan een LCA-richtlijn

Een LCA is voor vliegtuigen die vliegen op bijvoorbeeld batterijen, waterstof, biobrandstof of een synthetische brandstof wel waardevol, stelt Kan, en wordt dan ook steeds vaker toegepast. Bij een afzonderlijke LCA bepaalt de vraagsteller zelf welke software, rekenmethodes en achtergronddata hij gebruikt. Er zijn wel internationale kwaliteitseisen voor een LCA, ook wel ISO-normen genoemd, maar die geven een grote keuzevrijheid aan de LCA-onderzoeker, duidt Kan. Zo kan een onderzoeker om de waterschaarste te bepalen kiezen uit drie of vier verschillende impact-assessmentmethoden. Kan: “Dat heeft als voordeel dat het diepgaand antwoord geeft op de desbetreffende vraag, maar het maakt alleen de vergelijking met andere studies onmogelijk.”

Vandaar dat NLR samen met het Duitse lucht- en ruimtevaartcentrum (DLR) werkt aan een richtlijn voor LCAs van het gehele luchtvaarttransportsysteem; het

vliegtuig zelf, maar ook de brandstofproductie en de vliegvelen. “Het is geen standaard die de systeemkeuzen voorschrijft maar het geeft richting aan de keuzes. Het is een aanvulling op de bestaande ISO-normen.”

State of the art & eigen onderzoek

Samen met zijn collega’s van DLR verzamelt Kan de state-of-the-art-voorbeelden uit de literatuur en putten hij en zijn collega’s uit eigen ervaring en optimale werkmethoden. Zo voerde Kan samen met adviesbureau Roland Berger een LCA uit voor een vliegtuig zoals een Boeing 787-800 en een Airbus A320neo dat vliegt op waterstof, synthetische brandstof of op kerosine blijft vliegen, maar waarbij de CO₂ uit de lucht wordt opgevangen.

Zijn NLR-collega’s van Collaborative Engineering rekenden voor deze LCA de gevolgen door van ontwerpaanpassingen aan het vliegtuig. “Vliegen op waterstof, betekent dat er twee waterstoftanks mee moet tijdens de vlucht. Geplaatst achterin het vliegtuig, wat maakt dat het frame iets verlengd moet worden. Dat maakt een vliegtuig zwaarder en haalt het enigszins uit balans. Wat betekent dat voor het brandstofgebruik? We onderzochten de directe emissies tijdens de vlucht en de indirecte emissies en het grondstofgebruik van de luchthaven, de bouw van het vliegtuig en van het opwekken van de energie. Dat deden we voor alle drie de alternatieven voor fossiele brandstof.”

Daarnaast kijkt een LCA naar een bredere scope van milieuproblemen, aldus Kan. “We kijken niet alleen naar de klimaatimpact, maar nemen ook problemen mee zoals waterschaarste, uitstoot van fijnstof en landtransformatie. Zodoende willen we voorkomen dat we het ene milieuprobleem oplossen en daarbij een tweede milieuprobleem veroorzaken. Dat gebeurde bijvoorbeeld bij de eerste generatie biobrandstoffen, waarvoor grote hoeveelheden land nodig waren om biomassa te produceren. Dit leidde onder meer tot ontbossing.”

Significante vermindering

De levenscyclusanalyse voor brandstofalternatieven voor een narrow-body vliegtuig zoals de Airbus A320neo valt positief uit voor klimaatimpact. Nieuwe technologieën kunnen de emissies van broeikasgassen namelijk significant verminderen, zegt Kan. “De drie technologieën hebben potentie om de klimaatimpact met 50 tot 75% te verminderen, maar het gebruik van deze technologieën geeft wel meer impact op sommige andere milieuproblemen. Het is daarom niet voldoende alleen te kijken naar technologische oplossingen, een discussie over bewuster en minder vliegen blijft relevant.”

Gefundeerd inzicht

Het onderzoek van Kan vormt een deel van de input voor de LCA-richtlijnen voor luchtvaartsystemen. “We brengen kennis uit verschillende domeinen bij elkaar. Zo werken we aan iets nieuws en dragen we tevens bij aan het toepassen ervan in de lucht- en ruimtevaart. Gezien de noodzaak om de klimaatimpact van de volgende generatie vliegtuigen sterk te verminderen is het cruciaal om bedrijven en beleidsmakers gefundeerd inzicht te geven.”

PERIODE

2024 - 2025

EU PROJECTPARTNER

DLR

STRATEGISCH THEMA

Duurzame luchtvaart

NLR-KENNISPROGRAMMA

Klimaat neutrale luchtvaart

OVERHEIDSBELEID

IKIA Klimaat en Energie (D+9)

12 VERANTWOORDE CONSUMPTIE EN PRODUCTIE



PERIODE

2023 - 2024

EU PROJECTPARTNERS

GMV Aerospace and
Defence (Spain, Romania),
Ernst & Young Belgium

STRATEGISCH THEMA

Competitieve lucht- en
ruimtevaart

NLR-KENNISPROGRAMMA

Onbemand en Autonoom

OVERHEIDSBELEID

Kennisagenda

Luchtvaart (4)

“Het project is heel praktijkgericht met oplossingen die we op de korte termijn kunnen implementeren”

Betrouwbare navigatiesystemen: essentieel voor autonome drones

De toepassingsmogelijkheden van *Unmanned Aerial Vehicles* (UAV's), beter bekend als drones, zijn eindeloos. Autonome drones gaan een significante rol spelen in de samenleving. “Drones kunnen taken uitvoeren die gevaarlijk of eentonig zijn voor mensen. Ook kan de inzet van drones diverse efficiënte, logistieke oplossingen bieden”, vertelt Heiko Engwerda, navigation engineer bij NLR.

Een van de belangrijkste voorwaarden om autonoom – volledig zelfstandig, zonder interventie van een piloot – te kunnen vliegen, is secure en betrouwbare navigatie. Een autonome drone moet precies weten waar het zich bevindt en wat er in de omgeving gebeurt. In stedelijke gebieden wordt deze uitdaging vergroot door bijvoorbeeld hoge gebouwen die satellietsignalen kunnen blokkeren of verstoren. “We moeten kunnen vertrouwen op een bepaalde navigatieoplossing en het tijdig op de hoogte stellen van eventuele problemen”, aldus Engwerda.

NLR zette een belangrijke stap in de ontwikkeling van veilige en betrouwbare autonome drones door deelname aan het Europese ARAIMFUSE-project. Dit project richtte zich op de toepassing van *Advanced Receiver Autonomous*

Integrity Monitoring (ARAIM). ARAIM is een geavanceerde techniek die de betrouwbaarheid van satelliet navigatie signalen (zoals Galileo en GPS) bij vliegtuigen beoordeelt. De technologie helpt navigatiesystemen om fouten uit de satellieten te detecteren en corrigeren, waardoor nauwkeurigere en veiligere positiebepaling mogelijk is.

ARAIM is ontwikkeld voor vliegtuigen, specifiek voor het meest kritische deel: landingen. Hierbij moet een vliegtuig binnen de landingsbaan blijven, wat neerkomt op een nauwkeurigheid van ongeveer 20 meter. Voor drones – die vaak in dichtbebouwde gebieden opstijgen, vliegen en landen – is deze precisie niet voldoende. “We konden het concept dus niet hapklaar introduceren in de UAV-sector,” zegt Engwerda.

Systemen uit de luchtvaart toepassen in andere sectoren

Er moeten dus andere precisie-navigatietechnologieën aan ARAIM toegevoegd worden om de technologie geschikt te maken voor gebruik in autonome drones. Engwerda: “Voor het ARAIMFUSE-project hebben we samen met het consortium gekeken hoe we systemen uit de luchtvaart kunnen toepassen buiten de traditionele luchtvaart. De focus van NLR lag hierbij specifiek op het toepassen van ARAIM-technologie om autonome drones zo veilig mogelijk te laten vliegen.”

Voorbeelden van die aanvullende technologieën zijn *Inertial Measurement Units* (IMU's), empirische meetfoutmodellen die onzekerheden in positie-, snelheids- en richtingsmetingen analyseren en corrigeren, en verbeterde nauwkeurigheid van satellietnavigatiesignalen met de *Galileo High Accuracy Service*.

Door deze gegevens te combineren met het ARAIM-algoritme, ontstaat een robuuster en nauwkeuriger navigatiesysteem dat beter bestand is tegen verstoringen. Zo kunnen autonome drones binnen de verwachte integriteitseisen vliegen voor bepaalde operationele scenario's. “Zonder dit soort technologie is dat niet mogelijk”, aldus Engwerda.

Een breed scala aan toepassingen

De studie bestrijkt een breed scala aan toepassingen waarin navigatie een sleutelrol speelt. Zo keek GMV (Spanje) naar toepassingen in de spoorweg- en maritieme sector, terwijl het Belgische VVA de financiële impact van ARAIM voor de industrie onderzocht. In de spoorwegsector ging het bijvoorbeeld om het Europese treinbeveiligingssysteem (ERTMS), het controleren van deuren in treinen en het volgen van gevaarlijke ladingen. Voor de maritieme sector is gekeken naar toepassing van ARAIM in autonome schepen en het inzetten van ARAIM bij wetenschappelijk oceaandonderzoek.

Impact op de Nederlandse drone-industrie

De bevindingen uit het ARAIMFUSE-project hebben directe implicaties voor de Nederlandse drone-industrie. Door te anticiperen op toekomstige regelgeving en te voldoen aan strenge veiligheidseisen, kunnen Nederlandse bedrijven een voorsprong nemen. Het project helpt bij het identificeren van technische mogelijkheden en uitdagingen, zodat de industrie hun producten en diensten kunnen afstemmen op de verwachte normen en standaarden. “ARAIMFUSE is een directe impactstudie op aanvraag van de Europese Commissie en dus heel praktijkgericht. We hebben dus echt gekeken naar oplossingen die we op korte termijn, met bestaande technologie, kunnen implementeren en waarmee we de integriteit van UAV's kunnen waarborgen”, legt Engwerda uit.

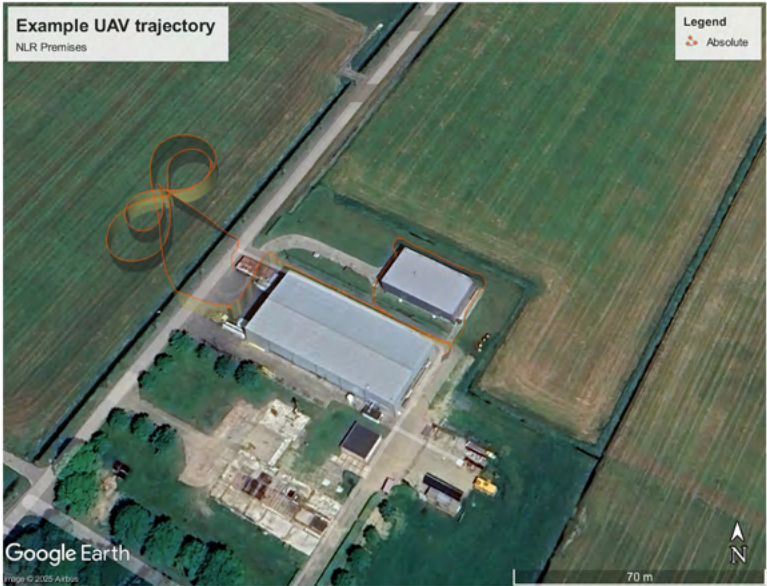
De Europese Commissie is ook het orgaan dat uiteindelijk de veiligheidsregels opstelt. “Ons werk draagt dus niet alleen bij aan een versterkte positie van Nederlandse bedrijven, maar vormt ook de basis voor uiteindelijke regelgeving die ervoor zorgt dat autonome drones veilig kunnen vliegen.”

Toekomstperspectieven

Hoewel ARAIMFUSE veelbelovende resultaten heeft opgeleverd, zijn er nog belangrijke stappen te zetten. Zo is verdere softwareontwikkeling en datamodellering nodig, evenals uitgebreidere tests en extra vliegreizen om de betrouwbaarheid en effectiviteit aan te tonen. Het project fungeert als een technologische demonstrator, maar dat betekent niet automatisch dat het direct in de praktijk wordt toegepast. De demonstrator is

bedoeld om verschillende belanghebbenden te laten zien dat deze technologie werkt. Zo krijgen regelgevende entiteiten inzicht in wat er mogelijk is en welke verdere ontwikkelingen nodig zijn. Engwerda: “Daarnaast speelt de operationele kant een grote rol: wie draagt de verantwoordelijkheid voor de implementatie en naleving van regelgeving? Er is een bevoegde autoriteit nodig die dit kan waarborgen.”

Met projecten als ARAIMFUSE toont NLR aan dat het een leidende rol speelt in de evolutie van lucht- en ruimtevaarttechnologieën. Door innovatieve oplossingen te ontwikkelen en samen te werken met industrie en overheid, draagt NLR bij aan een toekomst waarin autonome drones veilig en betrouwbaar hun weg vinden in complexe omgevingen.



PERIODE

2021 - 2024

NL PROJECTPARTNERS

Technische Universiteit
Eindhoven, GKN Fokker
ELMO, Synano, ADSE

EU PROJECTPARTNERS

Collins aerospace Ireland,
Evektor, plc-tec, ECMS

STRATEGISCH THEMA

Competitieve lucht- en
ruimtevaart en duurzame
luchtvaart

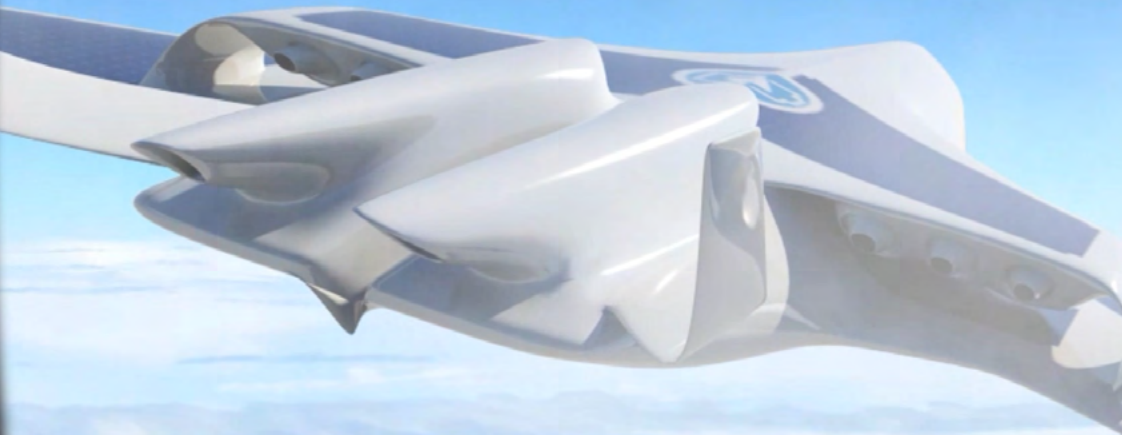
NLR-KENNISPROGRAMMA

Ontwikkeling van lucht- en
ruimtevaartuigen

OVERHEIDSBELEID

IKIA Klimaat en Energie
(D+9)

*“Alles moet met elkaar
communiceren, zonder verstoringen
in kritische systemen”*



Een energiezuinig en lichtgewicht communicatienetwerk als randvoorwaarde voor toekomstbestendige vliegtuigen

Sensoren, ijsbescherming op de vleugels, videoschermen voor passagiers: vliegtuigen beschikken over steeds meer elektrische systemen die hoofdzakelijk via kabels met elkaar verbonden zijn. Een middelgroot vliegtuig als een Airbus A220 heeft al gauw zo’n 700 kilo aan kabels aan boord. Met de groeiende vraag naar duurzame oplossingen, groeit het aantal elektrische systemen – en daarmee ook de complexiteit van het voedings- en datanetwerk. Daarnaast zorgt extra bekabeling weer voor extra gewicht, wat weer leidt tot meer CO₂-uitstoot.

“Een efficiënter en minder complex voedings- en data-netwerk leidt niet direct tot een klimaatneutrale luchtvaart, maar het is zeker een randvoorwaarde”, zegt Jesper Lansink Rotgerink, R&D engineer Elektromagnetische Technologie en Antennes bij NLR.

Betrouwbaar en veilig

Lansink Rotgerink is projectleider van het Europees project ADENEAS, wat staat voor *Advanced Data and power Electrical NEtwork Architectures and Systems*. Zijn team onderzoekt de mogelijkheden van een hybride datanetwerk binnen vliegtuigen, waarbij bekabeling wordt aangevuld met andere vormen van communicatie, zoals draadloze communicatie. Dat doet NLR in samenwerking met Technische Universiteit Eindhoven

(TU/e) en GKN Fokker Elmo, specialist in het ontwerp en de productie van bekabelingsharnassen voor de vliegtuigindustrie.

De elektrische onderdelen hebben voeding nodig en moeten kunnen communiceren met andere componenten, legt Lansink Rotgerink uit. “De flaps aan de achterzijde van de vleugel bijvoorbeeld, die gebruikt worden om op lagere snelheden te kunnen vliegen. Daarvoor staan ze in contact met een hoogtemeter. De meter bepaalt in de laatste fase van de landing hoe hoog het vliegtuig boven de grond is, waar de flaps vervolgens op reageren. Alles moet uiteindelijk met elkaar communiceren, en zeker voor zulke kritische systemen mogen daar geen verstoringen in zitten.”

Draadloos

Een van de alternatieven voor kabels is een hybride netwerk waarin onderdelen draadloos communiceren. Dit netwerk net zo betrouwbaar maken als een bekabeld systeem, dat is de uitdaging.

Samen met onderzoekers van de TU/e voerde Lansink Rotgerinks team laboratoriumtesten uit. “We testten bijvoorbeeld hoe de golven van draadloze communicatie zich in een metalen object gedragen. Als twee antennes zich in de vrije ruimte tegenover elkaar bevinden, verloopt de communicatie vrij duidelijk. Hoe meer metaal er in de buurt is, des te meer reflecties er via metalen wanden zijn en hoe complexer het wordt. We hebben ook onderzocht wat het effect van draadloze communicatie op een radarhoogtemeter is. Dat gaf ons bovendien inzicht in bijvoorbeeld het gebruik van zogenoemde *Shielded passenger windows* als een soort afscherming van elektromagnetische straling. Met deze ramen zijn hogere vermogens binnen het vliegtuig te gebruiken zonder dat het zicht van passagiers wordt beïnvloed. Hiermee verhogen we de praktische haalbaarheid van een draadloos netwerk.”

Powerline-communicatie

Naast draadloos is *Powerline*-communicatie, waarbij de communicatie en voeding binnen een kabel in plaats van twee plaatsvindt, een mogelijk alternatief. Het halveert de hoeveelheid aan benodigde bekabeling.

NLR onderzocht samen met het Zwitserse bedrijf plc-tec, dat powerline-communicatie ontwikkelt, hoe de communicatie via zo’n voedingskabel robuuster gemaakt kan worden tegen de elektromagnetische omgeving in een vliegtuig. “Aan boord van een vliegtuig is veel gevoelige apparatuur aanwezig, zoals radio-apparatuur voor communicatie met de grond en de landingssystemen. Die communicatie mag niet worden verstoord. De apparatuur is dan ook gekwalificeerd zodat het tegen bepaalde ruisniveaus kan. Het is van belang dat andere systemen geen ruis veroorzaken die boven dat niveau uitkomt.” Daarom testte Lansink Rotgerink de powerline-communicatie in NLR’s *Electro Magnetic Compatibility (EMC) test laboratory*. Daarnaast werd een tweede versie in een klein elektrisch vliegtuigje, *Evektor Sportstar EPOS+*, getest. “We hebben een demonstrator ontwikkeld waarmee we aantonen dat er geen verstoring plaatsvindt.”

Tweefasen koelsysteem

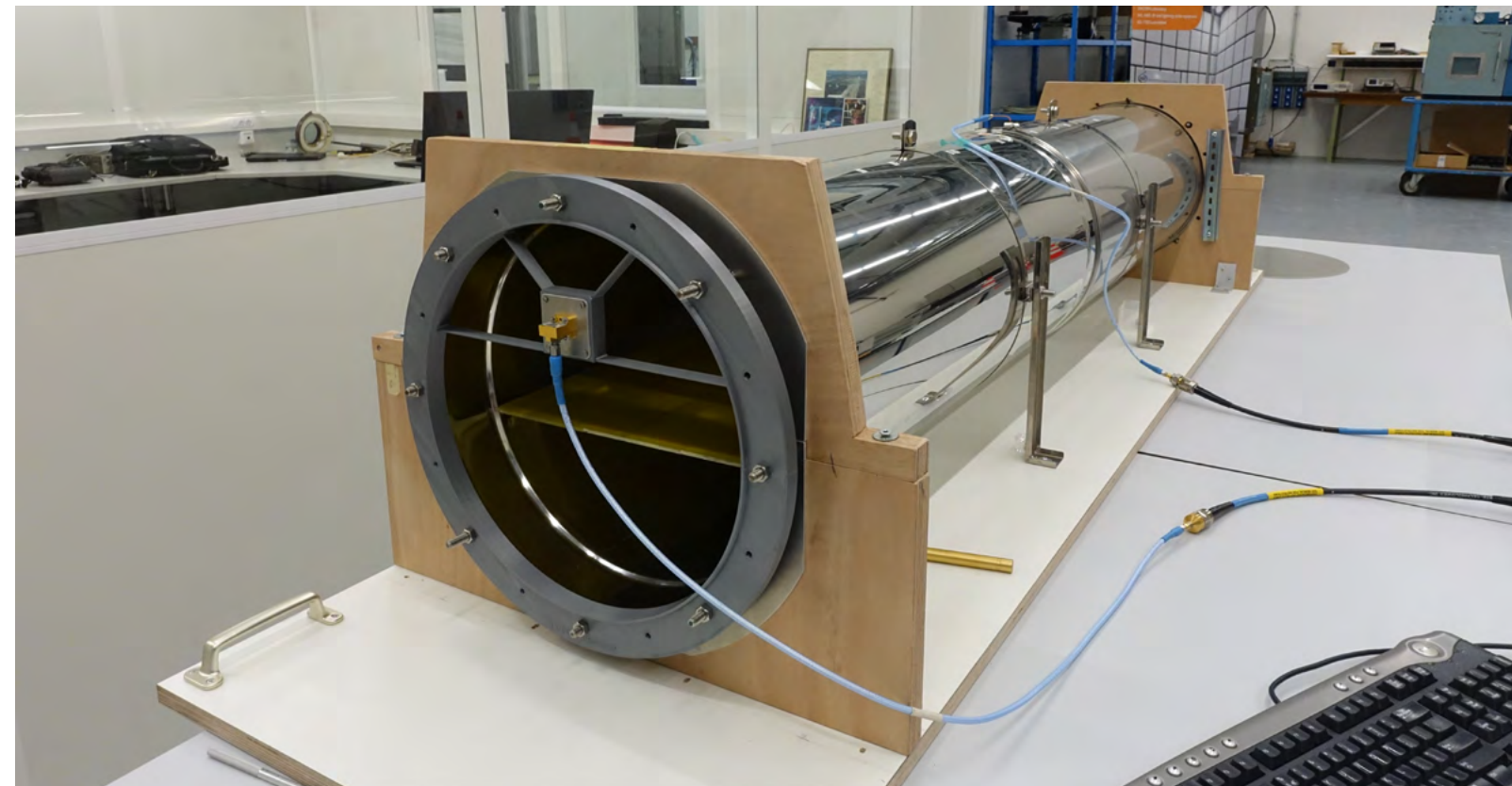
Ook leiden meer elektrische systemen aan boord tot grotere warmtedissipatie, oftewel verlies aan energie waardoor er extra warmte ontstaat. De thermisch onderzoeksgroep binnen NLR is ervaren in een zogenoemd tweefasen-koelsysteem. Dat maakt gebruik van het verdampen van vloeistoffen in een lus, legt Lansink Rotgerink uit. “Het transporteert het teveel aan hitte dat op bepaalde plekken ontstaat naar een andere plek binnen het vliegtuig. Om het vervolgens daar te gebruiken om bijvoorbeeld iets te verwarmen of om het te lozen.”

De cijfers

Eind 2024 werd het project afgerond en toont het een gewichtsverlies van 456 kilo aan bij een vliegtuig voor 120 passagiers. “Dit ‘gewonnen’ verlies ontstaat door de combinatie van draadloze communicatie, *powerline*-communicatie, de tweefasen koeling en modulaire *power*-elektronica, waar vooral het Ierse bedrijf Collins aan heeft gewerkt.” Daarnaast levert de combinatie een vermindering van 334 kilo CO₂ op een vlucht van 4000 kilometer. Er is nog wel nader onderzoek nodig om vliegtuigen met hybride data- en communicatienetwerk te laten vliegen. “Naar verwachting zal dat op zijn vroegst in 2031 zijn.”

Toekomstbestendig

Het project draagt niet alleen indirect bij aan een klimaatneutralere luchtvaart. Het versterkt ook de marktpositie van industriële partners, waaronder Fokker Elmo als fabrikant van bekabelingsharnassen. Lansink Rotgerink: “Bekabeling alleen is geen toekomstbestendig product. Het moet aangevuld worden met andere communicatiemediën, hetzij draadloze communicatie of *powerline*-communicatie. Dit project helpt Fokker Elmo’s product toekomstbestendig te maken, zodat het competitief blijft. En wij blijven competitief, want wij bouwen onze kennis en kunde ook uit op deze vlakken.”





“Stillere drones zijn ook van waarde voor defensie”

Vliegen in de stad: welk geluid hoort daarbij én hoe hinderlijk is het?

Het vliegverkeer in de toekomstige stad gaat toenemen. Elektrisch aangedreven drones bezorgen medicijnen of pakketten aan huis, terwijl luchttaxi's mensen vliegend vervoeren. Deze ontwikkeling, mede gedreven door duurzaamheidswensen, brengt nieuwe uitdagingen met zich mee.

Wat betekenen meer drones en luchttaxi's voor het geluidsniveau in de stad? En, hoe hinderlijk ervaren bewoners deze nieuwe vormen van luchtverkeer? Deze vragen staan centraal in het NLR-project DOGGIES, een afkorting voor: *DrOne Geluid Gesimuleerd In Een Stedelijke Omgeving*, dat in 2023 van start ging met interne financiering.

“We willen de ontwikkeling van nieuwe elektrische vliegconcepten versnellen”, zegt Remco Habing, senior R&D engineer bij NLR. Habing en zijn team hebben een simulatie-tool ontwikkeld die beleidsmakers helpt bij het vaststellen van geluidsnormen, zodat geluidshinder in stedelijke gebieden beperkt blijft. Ook stelt het vliegtuigbouwers in staat om al in de ontwerpfase rekening te houden met geluidsreductie. Dat is de civiele kant van het project, zegt Habing. “Stillere drones zijn ook van waarde voor defensie.”

Breedbandgeluid

Helikopters of traditionele propeller vliegtuigen maken een ‘tonaal’ geluid. Een geluid met een duidelijk waarneembaar karakter, wat voortdurend laagfrequente tonen heeft. Vliegen met een of meerdere rotoren, zoals bij drones en luchttaxi's het geval is, geeft tevens een hoog frequent geluid, duidt Habing. “Een breedbandgeluid noemen we dat. Het is een andere geluidsbron die ineens boven de achtergrond kan uitstijgen.”

Naast het verschil in geluidsoort zijn er andere aspecten die de akoestiek bepalen. “Een rotor heeft een ander bladprofiel en draait met een veel lagere snelheid dan een propeller”, gaat Habing verder. “Daardoor is de geluidsafstraling wezenlijk anders. Tevens is het vliegp pad anders; stijgen en landen gaat bijvoorbeeld verticaal. En wat als er een *vertiport*, een soort luchthaven van de toekomst maar dan in de stad, is? Hoeveel luchttaxi's en

drones kunnen tegelijkertijd opstijgen en dalen? Maar ook: hoeveel geluidshinder ondervinden de mensen die daar wonen en werken? Al deze aspecten definiëren de toepassingen van DOGGIES.”

Snel doorrekenen

Vanuit het publieke domein en literatuur werden honderden zogenoemde *eVTOL (electric vertical take-off and landing)* concepten - zowel bemande als onbemande vliegtuigen en objecten - gescreeend. Dat bracht een aantal gemeenschappelijke kenmerken aan het licht waarmee Habings team aan de slag ging. “Alle berekeningen richten zich op het simulatiemodel, met een drone als representatief voorbeeld. Met onze tool kunnen we voorspellen hoeveel geluid toekomstige configuraties produceren, ongeacht het aantal rotoren of het vliegpad.”

Daarnaast werd er een geluidspropagatie-model in stedelijke omgeving geïmplementeerd. “Het tweede bouwblok van onze voorspellingstool”, zegt Habing. “Dit model simuleert het opgewekte geluid vanuit de bronmodellering, zoals een drone, en laat zien hoe het afstraalt naar en door stedelijke omgeving. Daarbij spelen factoren als atmosferische demping, reflectie en afbuiging van geluidsgolven een rol. De stad is dan eigenlijk een soort blokkendoos met legoblokjes die gebouwen voorstellen. We kunnen hiermee ook de kaarten van Nederlandse steden inlezen.”

Als laatste onderdeel van de tool verbeterde het NLR team haar *Virtual Community Noise Simulator*. “In deze *Virtual Reality* omgeving onderzoeken we hoe geluid wordt waargenomen tussen de gebouwen en hoeveel hinder het veroorzaakt.”

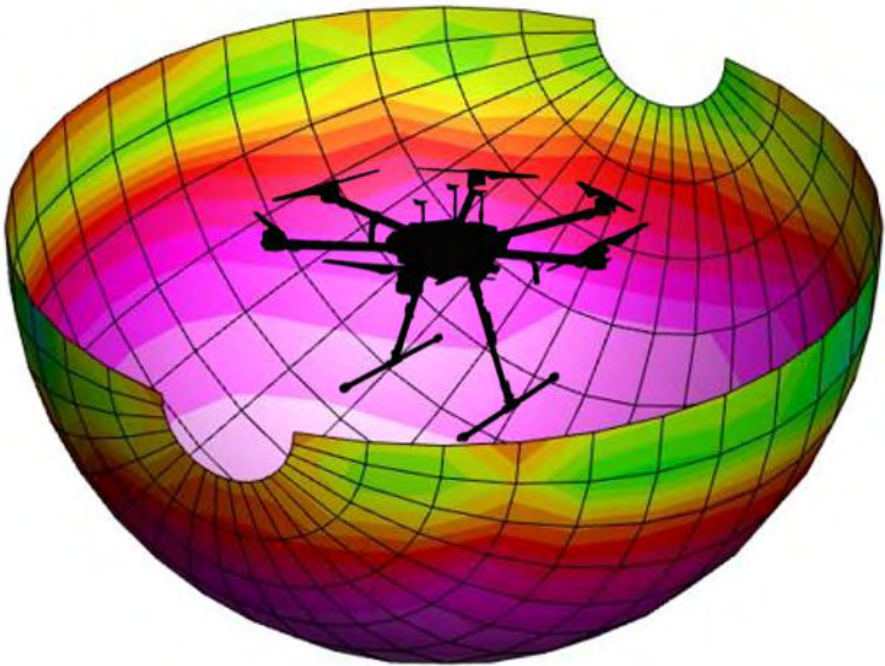
De totale voorspellingstool is vooral ontworpen om snel inzicht te kunnen geven, gaat Habing verder. “Bedrijven en gemeenten hoeven geen maanden te wachten op een uiterst nauwkeurige berekening. Met semi-empirische relaties (aannames die bedoeld zijn om de berekening te vereenvoudigen, red.) en snelle methoden kunnen we binnen een mum van tijd voorspellingen doen en veel configuraties en vliegroutes doorrekenen. Zodoende kunnen startups direct achterhalen of hun ontwerp te veel lawaai gaat maken.”

Het onderzoek had daarnaast een fundamenteel component: een afstudeerder van de Universiteit Twente onderzocht het effect van de stromingsgrenslaag. “De millimeters waar de stromingssnelheid zich aanpast aan de rotatiesnelheid van een rotor”, licht Habing toe. “In dat onderzoek werd een veelgebruikt semi-empirisch model voor vliegtuigvleugelgeluid voor specifieke rotortoepassingen gevalideerd. Het was een mooie toevoeging en leuk om te mogen begeleiden.”

Bruikbare aanzet

Habing: “We hadden van tevoren als eis dat dit project tot iets bruikbaars moest leiden. Hoe goed het uiteindelijk is? Dat moet verder onderzoek uitwijzen.” Zo wordt de tool momenteel getest in de buitenlucht met een multi-copter drone voor verschillende vliegsnelheden. Hiermee kan NLR effectiever advies uitbrengen over geluidseffecten van drones en luchttaxi’s in stedelijke omgevingen. “Deze tool kunnen we inzetten voor advies aan overheid, als design tool voor industrie en als missieplanning voor Defensie.”

Afgelopen zomer presenteerde Habing het [NLR-paper](#) op het European Rotorcraft Forum. “Het is belangrijk dat er voor de toekomstige generatie *Urban Air Mobility*-toepassingen onderzoek wordt gedaan naar het effect van geluid. Dit vraagstuk is nog lang niet opgelost. Met DOGGIES zetten we een belangrijke eerste stap en laten we zien wat er al mogelijk is.”



PERIODE
2024
NL PROJECTPARTNERS
intern gefinancierd
STRATEGISCH THEMA
Competitieve lucht- en ruimtevaart
NLR-KENNISPROGRAMMA
Impact op Mens en Maatschappij
OVERHEIDSBELEID
Kennisagenda
Luchtvaart (10,11)

De zoektocht naar kansrijke concepten voor hybride elektrisch vliegen

Klimaatneutrale luchtvaart vraagt om nieuwe vliegtuigen. Maar: welk concept is kansrijk genoeg om door te ontwikkelen? Hybride elektrische voortstuwing is een van de technologieën die kan zorgen voor een lagere CO₂-uitstoot. Binnen het Europese project IMOTHEP, wat staat voor *Investigation and Maturation of Technologies for Hybrid Electric Propulsion*, onderzocht NLR de toepassing van deze techniek in kleine en middelgrote vliegtuigen.

“Je kunt het vergelijken met de Toyota Prius van de luchtvaart”, zegt Jaap van Muijden, onderzoeker bij NLR en coördinator van de NLR-bijdrage in IMOTHEP. “Een vliegtuig met een hybride elektrische aandrijflijn haalt de energie voor een deel uit kerosine, en voor een deel uit batterijen of brandstofcellen.”

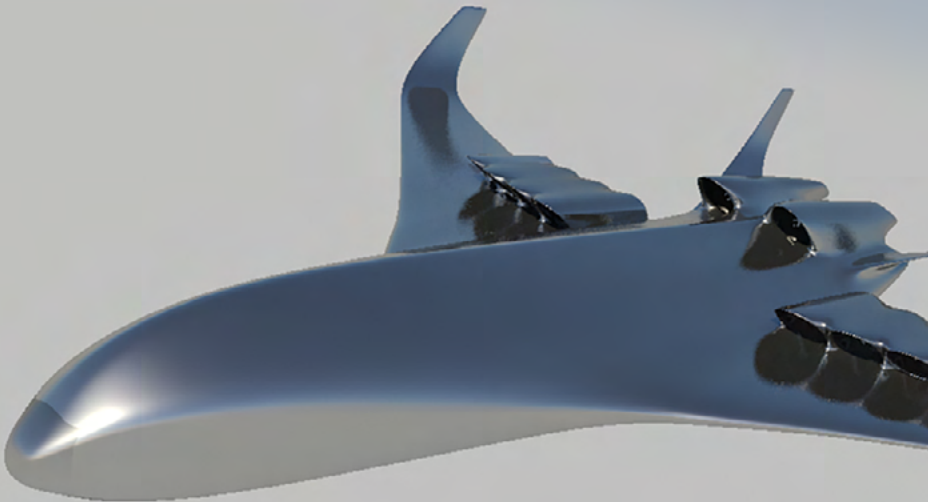
Blended-wing-body

De luchtvaart kan met het concept hybride elektrische voortstuwing nog vele kanten op. Daarom werd de scope van het project versmald naar twee soorten vliegtuigen: een regionaal vliegtuig en een *Short to Medium Range vliegtuig (SMR)*, zoals een A320. Voor beide varianten is zowel een conventioneel als een radicaal nieuw concept

onderzocht, waarbij de onderzoekers zijn afgestapt van de gangbare tweemotorige voortstuwing of een romp met vleugels.

Van Muijden: “Een regionaal vliegtuig kreeg binnen een radicaal concept bijvoorbeeld meerdere propellers en motoren. Voor de SMR ontstonden er ontwerpen zoals een *blended wing-body (BWB)*, dat is een vleugel die in de romp doorloopt. De romp is een stuk van de vleugel en loopt breed uit. Passagiers zitten niet in rijen van vier of zes naast elkaar, maar de rij van zitplaatsen wordt naar achteren toe steeds breder, met meerdere gangpaden. NLR was binnen IMOTHEP de configuratiemanager voor de radicale SMR-configuratie.”

“Radicalere opties zijn wellicht nodig om de uitstoot van vliegtuigen significant te verminderen”



PERIODE
2020 - 2024
EU PROJECTPARTNERS
ONERA, AIRBUS, CIRA, DLR, Leonardo, Safran, Avio Aero, AIT, GKN, Chalmers, ILDT, INCAS, ITP, MTU, BHL, UL, ISAE, KIT, USTRATH, POLIBA, UNOTT, Eurocontrol, CNRC, UT, EASA
STRATEGISCH THEMA
Competitieve lucht- en ruimtevaart & Duurzame luchtvaart
NLR-KENNISPROGRAMMA
Ontwikkeling lucht- en ruimtevaartuigen
OVERHEIDSBELEID
IKIA Klimaat en Energie (D+9); Kennisagenda Luchtvaart (7)

9 INDUSTRIE, INNOVATIE EN INFRASTRUCTUUR



Vliegen met en zonder gasturbine

Voor hybride elektrische aandrijvingen is de scope beperkt tot turbo-elektrische aandrijving. Hierbij is er nog wel een gasturbine aan boord die op kerosine draait, maar wordt alleen gebruikt om elektriciteit mee op te wekken. Die elektriciteit zorgt dan weer voor de aandrijving van de voorstuwingselementen. Het streven is om de kerosine vooral in te zetten om de gasturbine zo efficiënt mogelijk te laten draaien met een optimaal toerental. De gasturbine is dan kleiner en lichter dan een gasturbine voor conventionele voortstuwing.

Wanneer een vliegtuig geen gasturbine heeft, moeten er elektromotoren en extra bekabeling worden toegevoegd. Deze extra bekabeling is nodig om de benodigde elektriciteit door het vliegtuig te verspreiden en de elektromotor aan te sturen. Een aandrijflijn van generatoren, gelijkrichters, verdeelbussen, kabels en omvormers zorgt voor de daadwerkelijke aansturing. De elektromotoren drijven uiteindelijk de propellers in de motorbehuizing aan. NLR onderzocht voor beide SMR-concepten het effect van behuizing boven of onder een vleugel voor de voortstuwingsintegratie. Wat is de aerodynamische impact? Wat gebeurt er met de weerstand en het vermogen?

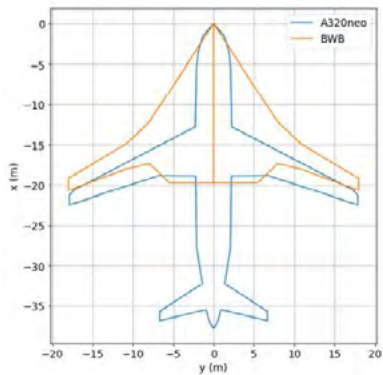
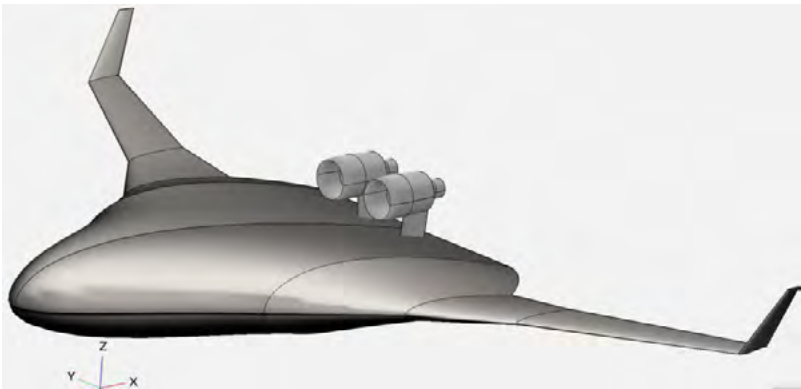
Extra componenten aan boord betekenen ook extra warmte. “Het gaat om grote vermogens die door de elektrische componenten lopen. We moeten dus niet alleen naar een efficiënte aandrijftrein kijken, maar ook

naar een verstandige manier om te kunnen koelen.” Van Muijden en zijn team werkten aan het thermisch management. De koeling van de hele aandrijving, met alle nieuwe componenten, heeft ook effect op het gewicht van het vliegtuig en de prestaties. Deze andere gewichtsverdeling betekent ook weer een verandering in het vliegtuigontwerp.

De ontwikkeling verder brengen

IMOTHEP was vooral een theoretische studie, zegt Van Muijden. “We hebben veel simulaties gemaakt, maar nog geen demonstrators of laboratoriummetingen ontwikkeld.” Het project geeft partijen als Airbus inzicht in welke concepten het meest kansrijk zijn. IMOTHEP startte in 2020 met de vraag of de verwachtingen van hybride elektrische aandrijving überhaupt waargemaakt konden worden binnen de luchtvaartindustrie. Aan het eind van de rit is duidelijk dat een regionaal vliegtuig op batterijen, met een gasturbine als voortstuwingselement, een potentiële kanshebber zou kunnen zijn.

Van Muijden: “Er is voor de andere configuraties nog meer onderzoek nodig. Door bijvoorbeeld innovaties in weerstandsverlaging en voortstuwing te integreren en daarmee tenminste 10% brandstofbesparing te kunnen halen. Dit kan voor vliegtuigproducenten van grotere vliegtuigen, zoals Airbus, betekenen dat er wellicht radicalere opties dan hybride elektrische voortstuwing nodig zijn om uitstoot significant te verminderen.”



Illustratie van de geometrie van het BWB SMILE-vliegtuig op basis van een ONERA-conceptuele studie. Deze geometrie is de basis voor de SMR-OHEP-configuratie. De figuur toont de 3D-vorm met 2 CFM-LEAP-1A-motoren gemonteerd op het achterste middenlichaam (links foto) en de benaderde planvorm (rechts foto, oranje contour, in vergelijking met A320neo benaderde planvorm in blauwe contour).

Voor toeleveranciers van componenten zoals het Franse Safran of het Amerikaanse Honeywell levert het onderzoek kennis op. “Als componenten in een vliegtuig elektrificeren, moeten bedrijven weten hoe en wat ze moeten maken.”

Daarnaast helpt IMOTHEP startups verder. Dat gebeurde al tijdens het project. Van Muijden presenteerde de bevindingen van het thermische gedeelte van het onderzoek tijdens de EUCASS 2022 Conferentie in het Franse Lille. Al gauw meldde zich een startup bij NLR. “Zij hadden vragen over het thermisch management

van de elektrische aandrijftrein binnen hun concept. Wij hebben dit voor hen doorgerekend. Daarmee konden zij weer verder.”

“Het is een mooie ontdekkingstocht, maar we zijn er nog lang niet. Met een klimaatneutrale luchtvaart in 2050 als stip op de horizon, groeit de maatschappelijke belangstelling voor innovatieve vliegconcepten. Dan is het goed om vroegtijdig en gefundeerd inzicht te verkrijgen over hoe levensvatbaar elektrisch vliegen is. Daarin speelt NLR met projecten als IMOTHEP een cruciale rol”, besluit Van Muijden.

“Met kunstmatige intelligentie kan de inspecteur sneller bepalen of een onderdeel defect is”



Innovatieve inspectiemethoden voor efficiëntere productie van vliegtuigen

In de luchtvaartindustrie speelt de productie van grote composietonderdelen een steeds belangrijkere rol. Composieten bieden voordelen zoals minder assemblagewerk, gewichtsbesparing en verbeterde prestaties. Maar hoe kunnen deze grote componenten snel en efficiënt worden gecontroleerd op kwaliteit, zonder dat dit de productie vertraagt? Binnen het PENELOPE-project heeft NLR de afgelopen 4,5 jaar samengewerkt met 30 Europese partners aan nieuwe methoden om de efficiëntie en precisie bij de productie van grote onderdelen te verbeteren, door geavanceerde productietechnologieën te integreren in een digitaal terugkoppelingsproces (*closed-loop digital pipeline*).

“Nu controleren inspecteurs de productiekwaliteit van vliegtuigonderdelen via ultrasooninspectie. Deze techniek maakt gebruik van hoogfrequente geluidsgolven om de interne structuur van een onderdeel te analyseren”, legt Johan Kos uit. Hij is principal R&D engineer en vanuit NLR betrokken als projectleider bij PENELOPE. Het project richtte zich op het optimaliseren van inspectietechnologieën, zoals alternatieve, snellere simulatiemodellen en kunstmatige intelligentie (AI), om de interpretatie van inspectiedata te versnellen.

Slimme inspectie met robots en AI

De huidige ultrasoonmethode is tijdrovend en arbeidsintensief. “Het grote voordeel van composiet is dat fabrikanten grote onderdelen kunnen produceren. Het is

dan wel des te belangrijker om snel op de hoogte te zijn van eventuele defecten.” Binnen PENELOPE heeft NLR samen met industriële en wetenschappelijke partners gewerkt aan een efficiëntere aanpak. De kern van deze innovatie ligt in thermografie, waarbij warmtebeelden worden gebruikt om defecten in materialen op te sporen.

In een eerder project werd thermografie al handmatig toegepast op vliegtuigrompen, vertelt Kos. “We hebben deze techniek in PENELOPE geautomatiseerd: een robot beweegt een warmtebron en camera langs het oppervlak en scant metersgrote secties in één keer. Vervolgens wordt kunstmatige intelligentie (AI) ingezet om de scanresultaten te analyseren. Hierdoor kan de inspecteur sneller bepalen of een onderdeel defect is en de productie mogelijk aangepast moet worden.”



De zoektocht van een wiskundige naar duurzame luchtvaartoplossingen

Wiskundige, schaker en vader van drie kinderen: maak kennis met Johan Kos, prinipal R&D engineer bij het Koninklijk Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum (NLR). Een kleine dertig jaar geleden maakte hij de overstap van de academische wereld naar de lucht- en ruimtevaartsector. Inmiddels werkt Johan achter de schermen aan nieuwe technologieën voor een duurzamere luchtvaart.

Een voorbeeld daarvan is het Europese Clean Sky 2 TRANSCEND-project, waar Johan initiatiefnemer en projectleider was. Het project, dat NLR samen met TU Delft uitvoerde, keek naar de bijdrage die alternatieve vliegtuigbrandstoffen en nieuwe vliegtuigaandrijving, waaronder aandrijving op vloeibare waterstof, leveren aan het verminderen van milieueffecten van de luchtvaart.

De combinatie van de automatisering van thermografie met het digitale terugkoppelingsproces zorgt niet alleen voor snellere detectie van defecten – de methode is tien keer sneller dan de huidige ultrasoonmethode – maar verhoogt ook de efficiëntie van de productielijn en leidt tot minder afvalproductie. Immers; defecten worden sneller gesignaleerd, en er hoeft dus minder materiaal weggegooid te worden.

Wat PENELOPE uniek maakte, is dat het project niet specifiek op de luchtvaart focuste, maar ook op productietechnologie in andere sectoren, vertelt Kos. “Hierdoor zijn we in contact gekomen met organisaties en experts buiten de luchtvaartsector – daar hebben we veel van geleerd. Zo konden we verschillende niet-destructieve inspectiemethoden (NDI-methoden) met elkaar vergelijken en door het uitwisselen van ervaringen vaststellen wat wel en niet werkt.”

Simulaties als sleutel tot betere defect-herkenning

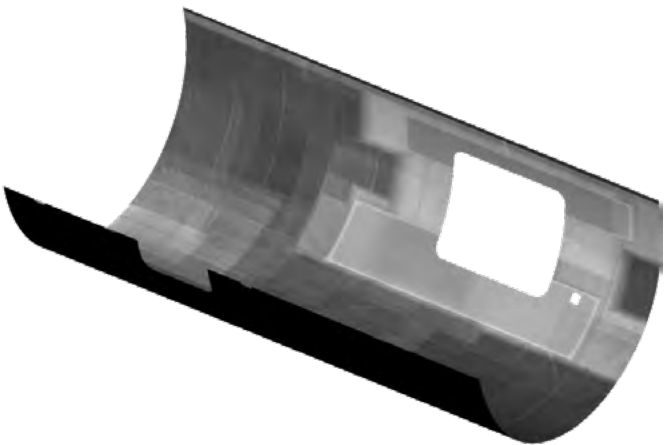
Een uitdaging bij AI-gestuurde inspectie is het verzamelen van voldoende trainingsdata. In de praktijk zijn er relatief weinig voorbeelden van defecten beschikbaar. Daarom heeft NLR virtuele simulaties van defecten gemaakt, legt Kos uit. “Door met software nauwkeurig digitale composietpanelen met verschillende defecten te modelleren, kunnen we AI-algoritmen beter trainen. Dit verhoogt de betrouwbaarheid van inspectieresultaten en helpt bij de verdere optimalisatie van de techniek.”

Belang voor Nederland en NLR

Voor Nederland biedt PENELOPE belangrijke voordelen. Door te investeren in geavanceerde productiemethoden behouden Nederlandse bedrijven zoals GKN Fokker, Airborne en KVE een goede concurrentiepositie op de internationale markt. Kos: “Met deze inspectiemethode ondersteunen we de luchtvaartsector in de overgang naar duurzamere en efficiëntere productieprocessen. We hebben nauw samengewerkt met de industrie en andere kennisinstellingen – zo kunnen we samen innovatie versnellen en ondernemersrisico’s, die er absoluut zijn bij het werken met nieuwe technologieën en materialen, verminderen.”

Toekomstperspectief

Hoewel PENELOPE inmiddels is afgerond, worden de inzichten uit het project doorontwikkeld in nieuwe initiatieven. De resultaten laten zien dat slimme inspectie, automatisering, AI en simulaties de luchtvaartproductie ingrijpend kunnen verbeteren. Dankzij deze innovaties kan Nederland een voortrekkersrol spelen in de luchtvaartindustrie van de toekomst – en dat is precies waar NLR zich sterk voor maakt.



Thermographic scan of the lower half skin of the thermoplastic Multifunctional Fuselage Demonstrator met handmatige scans , voorafgaand aan PENELOPE

PERIODE
2020 - 2025
PROJECTPARTNERS
https://penelope-project.eu/consortium/
STRATEGISCH THEMA
Competitieve lucht- en ruimtevaart
NLR-KENNISPROGRAMMA
Ontwikkeling van lucht- en ruimtevaartuigen
OVERHEIDSBELEID
Sleuteltechnologieën (8 Engineering and fabrication technologies)

PERIODE

2023 - 2025

EU PROJECTPARTNERS

T27 waaronder;

Astronomisch Onderzoek

in Nederland (Astron),

Kadaster, nationale

ruimtevaartagentschappen

en verschillende Europese

universiteiten

STRATEGISCH THEMA

Competitieve lucht- en

ruimtevaart & duurzame

luchtvaart

NLR-KENNISPROGRAMMA

Onbemand en autonoom

OVERHEIDSBELEID

Kennisagenda

Luchtvaart (4);

Lange-termijn

Ruimtevaartagenda (1)

“Het is nu belangrijker dan ooit dat Europa minder afhankelijk wordt van diensten als GPS”

Sterk vertrouwen in het Europese satellietsysteem Galileo

Zonder het te beseffen, maken miljoenen mensen elke dag gebruik van satellietsignalen. Wanneer onze smartwatch onze locatie bepaalt tijdens het hardlopen of bij het navigeren van A naar B, bijvoorbeeld. De bekendste satellietsignalen zijn die van het Amerikaanse satellietsysteem GPS. Maar ook het Europese satellietsysteem Galileo heeft dagelijkse zo’n 4 miljard gebruikers.

Voor Juliette Casals Sadlier, R&D engineer bij NLR, is het verbazingwekkend hoe groot ons vertrouwen in satellietsystemen is. “In een tijd waarin we steeds vaker te maken zullen krijgen met verstoringen van die satellietsignalen.” De R&D engineer onderzocht binnen het Europese project GEMOP onder meer de prestaties van Galileo’s satellietdiensten voor *Unmanned Aerial Vehicles (UAV)*, drones in stedelijk gebied. Ze voerde daarvoor testen uit op NLRs testfaciliteit in Marknesse en in de Oostenrijkse Alpen, waar verstoringen in de openlucht werden nagebootst.

Het Europese agentschap voor ruimtevaart, EUSPA, dat Galileo onderhoudt, startte in 2023 een tweejarig project: *Galileo and EGNOS Monitoring of Performances* (GEMOP). Een consortium van 27 universiteiten, onderzoeksorganisaties en ruimtevaartagentschappen voert, onder leiding van de Franse ruimtevaartorganisatie

CNES, het onderzoek uit. Het doel is om de door Galileo geleverde diensten, zoals positiebepaling, navigatie en timing en hoge nauwkeurigheidsdiensten te evalueren. Hierover rapporteert het projectteam aan EUSPA: doen de diensten wat deze moeten doen? Zijn er fouten en afwijkingen?

Autonoom vliegen

Wereldwijd zijn er vier navigatie-satellietssystemen. Naast het Amerikaanse GPS en het Europese Galileo zijn dat het Chinese satellietsysteem Beidou en het Russische Glonass. Casals Sadlier: “Galileo presteert momenteel beter dan andere satellietdiensten, zo wijst onderzoek van EUSPA uit. Het biedt hoge nauwkeurigheid en beschikbaarheid van de gegevens. Daarnaast is het een onafhankelijk Europees systeem en kunnen Europese gebruikers en de industrie de diensten kosteloos gebruiken. Gezien de huidige geopolitieke situatie is het

nu belangrijker dan ooit dat Europa minder afhankelijk wordt van diensten van externe landen, zoals het Amerikaanse GPS of Russische Glonass.”

“Met GEMOP geven we inzicht in wat de Galileo-diensten voor de industrie kunnen betekenen”, licht Casals Sadlier toe. “Zodat bedrijven eigen ontvangers kunnen ontwikkelen. Denk daarbij aan toepassingen in de consumentenmarkt en de zorgsector, zoals smartphones en wearables. Of in de vervoerssector voor autonoom autorijden of vliegen met drones. Binnen NLR richten wij ons voor GEMOP op vliegen met drones.”

Robuuste signalen

“Onze focus ligt op het verkrijgen van een robuust positie-navigatie en timing-signaal, in het kort: PNT”, zegt Casals Sadlier. “We analyseren en denken na over de integriteiten veiligheid van de berekende positiebepalingsoplossing. Satellieten sturen een gecodificeerd signaal. Daarmee herkent een ontvanger op de grond, of in de lucht, de positie van de satelliet en de tijd waarop het signaal is verzonden. Dit signaal gebruikt de ontvanger om zijn positie, snelheid en tijd te berekenen. Ingebouwde algoritmen binnen een specifieke gebruikersontvanger, maken de PNT-berekening nauwkeuriger. Ze bepalen of het signaal en de informatie betrouwbaar zijn. Door deze gegevens met andere sensoren te combineren is deze berekende oplossing te verbeteren.”

Vliegend en statisch testen

Om de data te kunnen verzamelen volgt Casals Sadlier, samen met haar collega's, twee scenario's. In het eerste scenario vliegt het team met een drone op de testfaciliteit in Marknesse. “Op die drone zit een ontvanger die we combineren met andere sensoren. Al vliegend verzamelen we gegevens van de satellieten. Die analyseren we met onze algoritmes, wat ons inzicht geeft in de nauwkeurigheid, snelheid en betrouwbaarheid.”

Daarnaast test het team statische ontvangers op het verstoren van de satellietsignalen, oftewel *spoofing* en *jamming*. “Dat gebeurt bijvoorbeeld door sterkere signalen te verzenden die valse informatie bevatten. De testen maken inzichtelijk hoe precies de positiebepaling is en laten zien in hoeverre verstoringen te onderscheppen en te beperken zijn.”

Door deze data te verzamelen en analyseren, verstevigt NLR zijn kennis over toepassingen met satellietsignalen. “Daarmee kunnen we eigen onderzoek doen, zoals naar autonoom vliegende drones, of de implementatie ervan. Informatie die bijvoorbeeld Defensie kan gebruiken bij het nemen van beslissingen. Of bedrijven bij het maken van andere toepassingen die autonoom moeten bewegen.”

NearSpace ontwikkelt regels voor het ruimtelijke niemandsland

Het gebied tussen de ruimte en het luchtruim is een soort niemandsland. Het begint zo'n 20 kilometer boven de aarde en eindigt bij de Kármánlijn, een denkbeeldige lijn die het begin van de ruimte definieert, op zo'n 100 kilometer van de aarde. “Dit gebied had tot voor kort nooit de aandacht”, zegt Wissam Chalabi, R&D Engineer bij NLR. “Er gelden daar geen regels.”



Toenemende drukte

Commerciële vliegtuigen vliegen typisch op hoogten tussen 9 en 12 kilometer, met enkele hogere uitschieters. Op honderd kilometer en verder ligt het domein van andere voertuigen en objecten zoals *space shuttles*, satellieten en raketten. Luchtverkeerregelaars, lucht- en ruimtemonitoring en een verdeling in meerdere secties maken het vliegen veilig en zorgen voor een efficiënte doorstroming. Terwijl het juist in het gebied daartussen steeds drukker wordt, ziet Chalabi. Vandaar dat NLR in 2024 startte met het interne project NearSpace. “Ons doel is om ervoor te zorgen dat er ook in dit gebied veilig gevlogen kan worden en de meest efficiënte vliegroutes worden gekozen.”

Supersnelle vliegtuigen

Naast de toenemende drukte in het tussenliggende gebied, nabij de ruimte, komen er meerdere initiatieven van startups voor supersnelle vliegtuigen die net boven het luchtruim vliegen, gaat Chalabi verder. Zo’n vlucht maakt het mogelijk om in drie uur tijd van Amsterdam naar Sydney te kunnen vliegen. “Supersonische en hypersonische vliegtuigen vliegen op zo’n 18 tot 40 kilometer boven de aarde. Dat is efficiënter vanwege minder luchtweerstand en daarmee minder brandstofverbruik. Daarnaast is het daar rustiger qua vliegverkeer, wat het veiliger maakt.”

Ten slotte neemt het aantal objecten toe dat zich om veiligheids- of milieuredenen in het gebied bevinden,

zegt Chalabi. “Denk daarbij aan *High Altitude Platform Systems (HAPS)* en onbemande ballonnen die de aarde monitoren en ongewone activiteiten – denk aan bosbranden of andere natuurrampen – signaleren. Deze platforms, die weken tot maanden in de lucht kunnen blijven, navigeren langzaam door en boven bestaand luchtverkeer. Daarbij is zorgvuldige coördinatie nodig om integratie met snellere vliegtuigen te garanderen.”

Een veilige tussenruimte

Nu is er geen autoriteit die zich officieel op het tussengebied richt. Chalabi: “Met NearSpace willen we de Europese autoriteiten adviseren over hoe ze de tussenruimte veilig kunnen houden.” NLR heeft een gedegen reputatie voor *air traffic management (ATM)*, aldus Chalabi. “We beschikken over een simulator, NARSIM, waarmee we nieuwe verkeerssituaties nabootsen en luchtverkeersleiders trainen.” Daarnaast heeft NLR diepgaande kennis over hoe objecten in de ruimte zich tot elkaar verhouden. “Dat noemen we *Space Situational Awareness*. Satellieten moeten bijvoorbeeld kunnen bepalen waar andere objecten zich bevinden, welke richting deze op gaan en met welke snelheid ze komen of gaan. Zodat ze elkaar niet raken.”

Een vallend ongecontroleerd object

Binnen NearSpace ontwikkelt Chalabi met zijn team een operationeel concept voor een object dat ongecontroleerd door het tussenliggende gebied valt. “Dit is een realistisch scenario. Er gaan steeds meer

objecten naar de ruimte, en daarmee neemt de kans dat zo’n object materiaal verliest toe. We willen voorkomen dat zo’n ongecontroleerd object op een vliegtuig terechtkomt, of ergens op aarde valt waar het tot veel schade leidt. Eind dit jaar kunnen we nabootsen dat een ongecontroleerd object het tussenliggende gebied inkomt. Met de informatie over het object en onze berekeningen kan de luchtverkeersleiding piloten van ‘nabije’ vliegtuigen informeren.”

“We willen voorkomen dat een object op een vliegtuig of ergens op aarde valt”

Call to action

De resultaten van het onderzoek zijn interessant voor de autoriteiten zoals het ministerie van Defensie of van Infrastructuur en Waterstaat, legt Chalabi uit. “Het is een aanzet om procedures voor het tussenliggende gebied op stellen.” Ook voor startups die ruimtevliegtuigen of raketvliegtuigen ontwikkelen, is het interessant. “We hebben al met een aantal van deze startups gesproken. Ze willen rekening kunnen houden met wat ze wel en niet mogen doen in dit gedeelte van het luchtruim.”

Het project is eigenlijk een *call to action*, stelt Chalabi. “Het is een feit dat er meer activiteit is in de nabije ruimte en dus een hoger risico op objecten die door de lucht vallen. Tegelijkertijd zijn er niet genoeg gestandaardiseerde procedures om met deze situaties om te gaan. De sector moet zich bewust zijn van de risico’s en we moeten de bewegingen in deze ruimte met elkaar coördineren. Zo houden we de ruimte veilig.”

PERIODE
2024 - 2025
STRATEGISCH THEMA
Competitieve lucht- en ruimtevaart
NLR-KENNISPROGRAMMA
Veilige en concurrerende operatie
OVERHEIDSBELEID
Lange-termijn Ruimtevaart agenda (1)

PERIODE

2020 - 2024

NL PROJECTPARTNERS

TU Delft, DTC (onderdeel
geworden van Collins
Aerospace), AELS

EU PROJECTPARTNERS

AIT-LKR, DLR, JR, JKU, INO,
INVENT, RTDS

STRATEGISCH THEMA

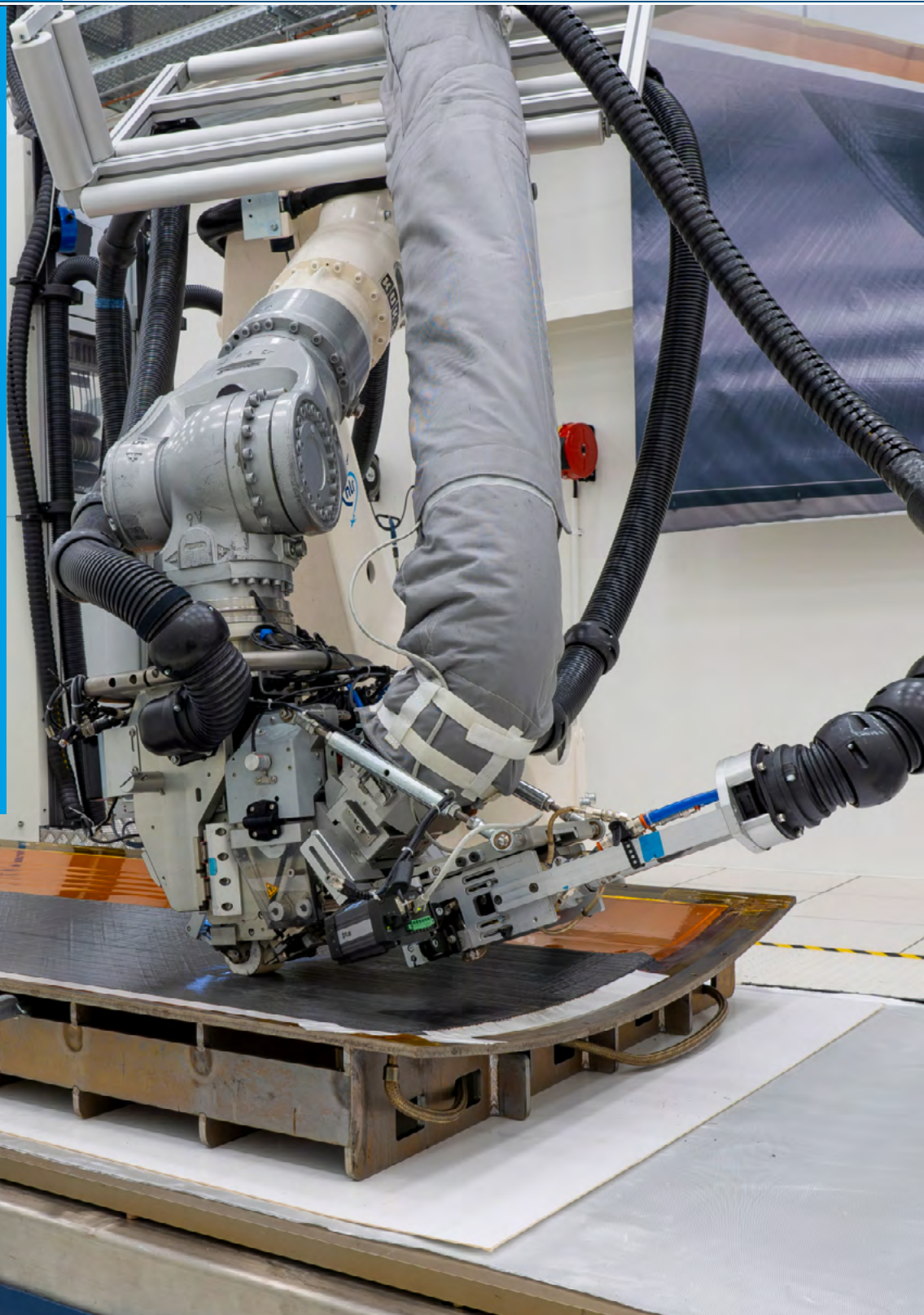
Competitieve lucht- en
ruimtevaart en duurzame
luchtvaart

NLR-KENNISPROGRAMMA

Ontwikkeling lucht- en
ruimtevaartuigen

OVERHEIDSBELEID

IKIA Klimaat en Energie
(D+9)



Lichtere materialen en recycling zijn essentieel voor de verduurzaming van de luchtvaart

De luchtvaart moet verduurzamen. In dat proces spelen materialen in vliegtuigen een grote rol. Hoe lichter een vliegtuig, des te minder brandstof het verbruikt. Dat zorgt weer voor minder uitstoot van schadelijke stoffen. “Composiet, een kunststof met versterkende vezels van bijvoorbeeld koolstof of glas, is een veelbelovend materiaal in de luchtvaart. Het is sterk en lichter dan het tot op heden veelgebruikte metaal”, zegt Ruben Nahuis, projectmanager bij NLR. Naast de inzet van nieuwe, lichtere materialen, kunnen vliegtuigbouwers ook stappen zetten om materialen zo veel mogelijk te recyclen.

NLR speelt een belangrijke rol bij de toepassing van nieuwe materialen en de optimalisatie van het materiaalgebruik in de luchtvaart. De afgelopen vier jaar was het nauw betrokken bij SUSTAINair. In dit project, waarin kennisinstellingen en bedrijven uit heel Europa samenwerkten, stonden twee thema's centraal. In het eerste thema werd gekeken naar het lichter maken van de vliegtuigconstructies. In het tweede thema stond het verhogen van de aerodynamische efficiëntie van een vliegtuig centraal. “Binnen NLR hebben we ingezoomd op drie deelonderwerpen binnen het eerste thema, waarbij de focus vooral op composieten lag. Andere partners hebben dan weer naar de ontwikkeling op het gebied van metalen gekeken.”

Gerecycled composiet

Composieten – en dan met name de thermoplasten – zijn een belangrijk vakgebied in het Nederlandse onderzoek, schetst Nahuis. Thermoplast is een kunststof die zacht wordt bij verhitting en daarmee de mogelijkheid biedt om na verhitting een andere vorm te geven. Er worden uiteenlopende toepassingen van dit materiaal in de luchtvaart getest. Binnen SUSTAINair heeft NLR samen met de Nederlandse partners vooral gekeken naar het recyclen van het materiaal en de lasbaarheid daarvan. “We hebben bestaande onderdelen van thermoplastisch koolstofcomposiet versnipperd en weer samengesmolten. Om de gerecyclede kern hebben we een laagje nieuw materiaal aangebracht”, legt hij uit.

Lassen van composiet

Het buitenste laagje nieuw thermoplastisch koolstofcomposiet is belangrijk voor het tweede onderwerp; het lassen van composiet met een inductielasproces. Door twee onderdelen lokaal te verwarmen met behulp van een magnetisch veld, smelten de materialen ter plaatse van de verbinding. Als de onderdelen daarna onder druk weer afkoelen, is er een verbinding gelegd. Om onderdelen met elkaar te kunnen verbinden, is het belangrijk dat de elektrisch geleidende koolstofvezels in het materiaal de opgewekte stroom goed door het onderdeel kunnen geleiden. Dat is lastiger bij het versnipperde, gerecyclede materiaal. “Daarom is het nieuwe laagje aan de buitenkant zo belangrijk”, stelt Nahuis.

Bovendien is de richting van de vezels belangrijk bij het bepalen van de sterkte en stijfheid van het materiaal. “In sommige gevallen is het niet mogelijk om alleen met gerecycled materiaal te werken.”

Lichtere toestellen door lassen

Het lassen van composiet draagt bij aan het verduurzamen van de luchtvaart , legt de projectmanager uit. “Nu worden er vaak metalen klinknagels gebruikt om verschillende onderdelen aan elkaar vast te maken. Dat zorgt voor extra gewicht. Door het lassen zijn de klinknagels niet meer nodig.”

Het lasproces zo optimaal mogelijk inrichten was ook onderdeel van het onderzoek. Als het materiaal te warm of juist niet warm genoeg wordt, verliest de verbinding aan sterkte. “Dan wordt het product afgekeurd en weggegooid. Door dit proces zo goed mogelijk te monitoren en altijd te lassen op de juiste temperatuur, is er minder verspilling en afkeur van producten”, aldus Nahuis.

Recyclen van metaal

Het laatste onderwerp waar NLR mee bezig is geweest binnen SUSTAINair is gericht op het recyclen van metalen onderdelen. Hiervoor werkt NLR onder andere samen met het Twentse bedrijf AELS dat vliegtuigen ontmantelt. In het project is gekeken naar een technologie om de klinknagels automatisch te herkennen en te verwijderen uit de romp van een vliegtuig. De losse metaallegeringen van verschillende kwaliteitsklasse met elk hun specifieke eigenschappen zijn dan relatief makkelijk opnieuw te gebruiken, ook in andere industrieën.

Van woestijn naar hoogwaardig product

“Een deel van de afgeschreven vliegtuigen belandt op afvalbergen in de woestijn. Dat moet anders”, stelt de projectmanager. “Als vliegtuigen op dit moment al gerecycled worden, dan worden grote metalen delen versnipperd en van het mengsel worden dan bijvoorbeeld colablikjes gemaakt. Dat klinkt als recyclen,

maar het is vooral *downcyclen*, de eindproducten zijn van steeds minder goede kwaliteit. Als we onderdelen op een economisch rendabele manier uit elkaar kunnen halen, legeringen zuiver kunnen scheiden en vervolgens weer opnieuw kunnen gebruiken in hoogwaardige producten zoals een vliegtuig of een auto, is dat veel interessanter. Er is dan geen sprake meer van *downcyclen*”, legt Nahuis uit.

Impact door samenwerking

De meeste bevindingen uit het project zijn niet op korte termijn toe te passen in de praktijk, daar is meer onderzoek voor nodig. Maar de betrokken partijen kijken met vertrouwen naar de toekomst. “NLR slaat een brug tussen de wetenschap en de industrie en helpt innovaties verder. In het kader van het gerecyclede composiet heeft de TU Delft fundamenteel onderzoek gedaan naar de eigenschappen van het materiaal. DTC Collins, een commercieel bedrijf, heeft er prototype producten van gemaakt in hun faciliteit. Wij spreken bij NLR beide talen en brengen de verschillende partijen samen. Als de technologie verder is uitgewerkt, kan DTC Collins dit misschien in de toekomst echt op de markt brengen. Zo maken we samen impact.”

Life Cycle Analysis

Als onderdeel van de impact op de transitie naar een duurzamere luchtvaart werkt NLR aan richtlijnen voor *Life Cycle Assessment (LCA)*. Een LCA is een systematische methode om de milieueffecten van een product, proces of systeem te evalueren vanaf de winning van grondstoffen tot het einde van de levensduur, inclusief de productie, het gebruik en de afvalfase. Zo kan NLR kijken of het onder aan de streep duurzamer is dan de huidige standaard. Nahuis: “We maken nu alvast de richtlijnen, zodat we later – als de technologie verder ontwikkeld is – ook snel de analyses kunnen uitvoeren om de impact inzichtelijk te maken.”

“Het lassen van composiet draagt bij aan het verduurzamen van de luchtvaart”

PERIODE

Doorlopend

STRATEGISCH THEMA

Veilige samenleving

NLR-KENNISPROGRAMMA

Informatiegestuurd

opereren (IGO)

OVERHEIDSBELEID

Defensievisie 2035 (6)

“Trollen kunnen de tegenpartij op het verkeerde been zetten”

Beyond Kinetics: NLR ontwikkelt digitaal oefenterrein voor moderne conflicten

Cyberaanvallen, verstoorde gps-signalen van vliegtuigen, beïnvloeding via social media: de aard van conflicten verandert. Moderne vormen van conflicten worden niet alleen gestreden op het fysieke veld, maar in toenemende mate ook in de virtuele wereld. Door experts ook wel het niet-kinetische deel genoemd, duidt Antoine de Reus, programmaleider Informatiegestuurd Opereren (IGO) bij NLR.

De inzet van raketten of andere soorten wapensystemen die doelen fysiek aanvallen, zijn voorbeelden van kinetische activiteiten. “NLR heeft diepgaande kennis van kinetische activiteiten en de simulatie ervan”, zegt De Reus. “Daarnaast beschikken we over jarenlange ervaring en ruime expertise van cyber en cognitieve wetenschappen.” Met *Beyond Kinetics* richt NLR zich, met die expertise en ervaring, op het versterken van weerbaarheid en slagvaardigheid in het niet-kinetische domein – zowel virtueel als cognitief.

Fysiek, virtueel en cognitief

Niet-kinetische aanvallen onttrekken zich aan het fysieke strijdveld, en vinden plaats in de cognitieve en virtuele dimensie. Een fictief voorbeeld van een aanval in de cognitieve dimensie is het beïnvloeden van een helikoptermisatie waarbij defensie heimelijk een persoon ophaalt in vijandelijk gebied. “Mensen die de helikopter toch zien kunnen foto’s van de helikopter

op social media plaatsen”, licht De Reus toe. “Leest de tegenstander zo’n bericht dan is het verrassingseffect van die missie verdwenen. Of denk aan de zichtbaarheid van wereldleiders, die is door social media veel groter dan voorheen. Hun boodschappen hebben daarmee een veel groter bereik en grotere impact.”

Als voorbeelden van offensieve effecten in de cognitieve en virtuele dimensie noemt De Reus verstoring van gps-signalen van een vliegtuig, of cyberaanvallen. “Heel concreet: trollen, of nepprofielen, kunnen worden ingezet die de tegenpartij bewust op het verkeerde been zetten. Deze stroom aan foutieve informatie kan zorgen voor langzamere besluitvorming.”

Digitaal oefenterrein

Om een land te kunnen wapenen tegen deze soort aanvallen of ze te voorkomen, is het belangrijk om te weten wat de effecten zijn, aldus De Reus. “Daarom

moeten we ermee experimenteren en oefenen. Dat kan nu nergens. Binnen de huidige ethische en juridische kaders mag Defensie natuurlijk geen testcyberaanval opzetten.” Binnen *Beyond Kinetics* werkt NLR aan een ‘digitaal oefenterrein’, een term bedacht door militair jurist en hoogleraar *Cyber Warfare* aan de Nederlandse Defensie Academie, Paul Ducheine. Met zo’n oefenterrein kan de Nederlandse krijgsmacht zich voorbereiden op conflicten of deze proberen te voorkomen.

Een team effort

Het project is een verzameling van vier bestaande projecten binnen NLR die vallen onder het strategisch programma Informatiegestuurd Opereren (IGO). De samensmelting is voor De Reus ook het mooie van *Beyond Kinetics*. “Het is echt een team effort. Alle projecten richten zich op een ander aspect van modellering tot kennis van cognitieve effecten bij militaire operaties. Net zoals de fysieke, virtuele en de cognitieve dimensies nauw met elkaar verweven zijn, zijn deze vier projecten dat ook. Als we een zo realistisch mogelijk oefenterrein willen, dan moeten we dit samen oppakken.”

Beyond Kinetics is een initiatief van NLR zelf, maar er is wel een nadrukkelijke vraag vanuit Defensie om de niet-kinetische activiteiten te kunnen simuleren. “Defensie moet effectief kunnen opereren in moderne conflicten. Dat vraagt om geïntegreerde informatie binnen de drie dimensies.” *Beyond Kinetics* draait vooral om kennisopbouw. NLR beschikt al over diepgaande

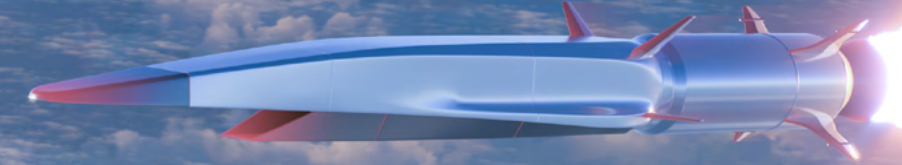
kennis en ervaring met missiesimulatie voor bemande en onbemande vliegtuigen, en het simuleren van operaties op wat grotere schaal in zijn *battlelab Cerebro*. Met zijn kennis en expertise in kunstmatige intelligentie, elektronische oorlogsvoering, cybermodellering en -simulatie, en cognitieve psychologie, voegt NLR daar simulaties met niet-kinetische effecten aan toe. “Denk aan de fysieke omgeving van een commandopost met daarin een commandant die misleidende informatie binnenkrijgt en zo het vertrouwen in het systeem kan kwijtraken. Wat doet dat met de besluitvaardigheid?”

Toegepast onderzoek voor de veiligheid van Nederland

Beyond Kinetics is gebaseerd op toegepast onderzoek, zegt De Reus. “We passen toe wat we al weten. Met het simuleren van cyber- en elektromagnetische effecten experimenteren we al. Effectsimulatie binnen de cognitieve dimensie staat nog redelijk aan het begin. Bij het simuleren van cognitieve effecten onderzoeken we daarbij niet hoe vermoeidheid invloed heeft op besluitvorming, maar nemen we dát het invloed heeft als een gegeven mee.”

De Reus benadrukt dat het project zich nog in de conceptuele fase bevindt. “Uiteindelijk draagt het digitale oefenterrein concreet bij aan de veiligheid van Nederland. Het is echt heel mooi om daar een bijdrage aan te leveren.”

“Hypersone raketten zijn minder goed zichtbaar voor traditionele luchtverdedigingssystemen”



Nieuwe raketten vragen om geavanceerdere luchtverdediging

Hypersone raketten zijn sterk in opkomst. Deze relatief nieuwe raketten zijn vijf keer sneller dan het geluid. Bovendien zijn ze onvoorspelbaarder dan de traditionele ballistische raketten omdat ze in de lucht makkelijk van koers kunnen veranderen. “Dat brengt de nodige uitdagingen met zich mee voor de luchtverdediging”, stelt de betrokken NLR-teamleider. Hij heeft het afgelopen jaar met zijn team onderzoek gedaan naar de ontwikkeling van nieuwe sensoren om hypersone raketten te kunnen detecteren.

Radar- en infraroodsystemen kunnen vliegtuigen, raketten en andere objecten in de lucht detecteren. “Zo kunnen we op de grond in de gaten houden wat er in de lucht gebeurt”, legt de betrokken senior R&D engineer en teamleider* uit. Mocht een object een bedreiging vormen, dan kan op basis van de detectie ook besloten worden om in te grijpen, bijvoorbeeld door het te onderscheppen in de lucht of door mensen op tijd te evacueren.

Sneller en wendbaarder

“Vliegtuigen en ballistische raketten zie je van mijlenver aankomen via de huidige luchtverdedigingssystemen; ze vliegen in voorspelbare banen. Zo vliegt een ballistische raket meestal in een boog op het doel af. Hypersone raketten vliegen sneller, dichterbij de grond en kunnen makkelijker manoeuvreren. Ze zijn dus minder goed zichtbaar voor de traditionele luchtverdedigingssystemen.” Daarom doet NLR onderzoek naar sensoren die de hypersone raketten wel op kunnen merken.

Het geavanceerde onderzoek is onderdeel van het grote onderzoeksprogramma *Integrated Air and Missile Defense (IAMD)*, waarvoor NLR nauw samenwerkt met TNO en het ministerie van Defensie. Het programma bestaat uit verschillende onderzoeksprojecten rondom de lucht- en raketverdediging vanuit de verschillende entiteiten lucht, land en zee. De opkomst van hypersone

raketten is een van de grootste uitdagingen binnen het IAMD-domein op dit moment, verklaart de teamleider. “Als het niet lukt om een raket uit de lucht te halen, dan is het belangrijk dat er genoeg tijd is tussen het opmerken ervan en het moment dat de raket daadwerkelijk de grond raakt. Zo kunnen mensen gewaarschuwd worden en op tijd op zoek gaan naar een veilige plek. Dat is een belangrijk onderdeel van jezelf als land wapenen tegen dreiging.”

Kijk en vergelijk

De teamleider gaat verder: “Binnen Defensie leeft de vraag hoe we ons het beste kunnen wapenen tegen de nieuwe raketten. Daarom doet NLR al jaren onderzoek naar de prestaties van hypersone raketten, sensoren om ze te detecteren en maatregelen om ze uit te schakelen. NLR voert hiervoor uiteenlopende testen uit in het laboratorium en in het veld (een minder geconditioneerde omgeving in de buitenlucht).

Om de prestaties van de systemen in kaart te brengen, maken ingenieurs bij NLR complexe aerodynamische en plasma modellen. Dit zijn modellen gebaseerd op de fundamentele fysica. Plasma – als gevolg van gassen die in de atmosfeer van toestand veranderen – ontstaat bij zeer hoge snelheden, temperaturen en drukken en heeft een impact op de detecteerbaarheid. De modellen kunnen het ontstaan van die plasma’s voorspellen.

*Vanwege veiligheids- en privacyredenen wordt de naam van de geïnterviewde niet vermeld.

Recent heeft NLR voor het ministerie van Defensie van verschillende sensoren – van radarsystemen tot visuele en akoestische systemen – op een rij gezet wat de voor- en nadelen zijn. Per techniek is een simulatie gemaakt van de impact op de voorwaarschuwingstijd op de grond. Zo hebben de ingenieurs een overzicht gegeven op basis waarvan het ministerie keuzes kan maken over de aanschaf van bepaalde systemen om beschermd te zijn tegen de opkomende dreiging.”

Van wetenschap naar toepassing

NLR is daarbij een belangrijke kennispartner voor Defensie; NLR brengt adviezen uit op basis van de opgedane kennis en ondersteunt bij het maken van de vertaling van wetenschappelijke kennis naar integratie en toepassing in de praktijk. “We kijken bijvoorbeeld ook naar het onderhoud van systemen op lange termijn en de mensen die hiervoor nodig zijn. Zo maken we een compleet plaatje.”

De teamleider ziet ook dat Defensie stappen onderneemt en aanpassingen doorvoert naar aanleiding van de onderzoeken die NLR uitvoert: “Gezien de ontwikkelingen in het politieke speelveld, is het onderzoek gaandeweg de looptijd alleen maar relevanter geworden.”

PERIODE
2023 - 2026
NL PROJECTPARTNER
TNO
STRATEGISCH THEMA
Veilige samenleving
NLR-KENNISPROGRAMMA
Future Air & Space Power
OVERHEIDSBELEID
Defensievisie 2035 (3)

PERIODE

2023 - 2026

NL PROJECTPARTNERS

TNO, MARIN

STRATEGISCH THEMA

Veilige samenleving

NLR-KENNISPROGRAMMA

Klimaatneutrale Luchtvaart

OVERHEIDSBELEID

Defensievisie 2035 (2,10)

“Gezien het hoge dreigingsniveau zal de energievraag van Defensie alleen maar toenemen”



Verduurzaming van Defensie: goed voor de maatschappij én de slagkracht

De militaire luchtvaart moet verduurzamen, vanuit maatschappelijk oogpunt én vanuit strategisch perspectief. “Verduurzaming kan de positie van de luchtmacht versterken”, stelt Elisabeth van der Sman, senior consultant en teamleider duurzame luchtvaart bij NLR. Voor fossiele olie – essentieel voor de productie van kerosine en diesel – zijn we afhankelijk van andere landen. Bij het verminderen van die afhankelijkheid, speelt de energietransitie een cruciale rol.

Binnen het programma ‘Energietransitie Operationeel Materieel’ onderzoekt NLR de mogelijkheden om de energiezekerheid en -onafhankelijkheid van Defensie te vergroten door middel van verduurzaming. “Gezien de huidige ontwikkelingen is het belangrijk dat Defensie autonomer - en daarmee minder kwetsbaar - wordt. Tegelijkertijd willen we dat de luchtmacht minder uitstoot en een bijdrage levert aan de bredere verduurzaming van de maatschappij. Het is een win-winsituatie”, aldus Van der Sman.

Energievraag neemt toe

In het programma heeft NLR gekeken naar de energiebehoefte van Defensie op de lange termijn, tot 2050. NLR brengt in kaart hoeveel energie er verbruikt wordt, hoe dat gemonitord kan worden en welke technologieën kunnen helpen om efficiënter met

energie om te gaan. Van der Sman: “Gezien het hoge dreigingsniveau zal de energievraag de komende jaren alleen maar toenemen.” Zo gaat Defensie bijvoorbeeld meer trainen en meer vliegen omdat het simpelweg beter voorbereid moet zijn. Er zal in de toekomst meer energie nodig zijn.”

Simulaties zorgen voor besparing

Verschillende technologieën kunnen erbij helpen om slimmer om te gaan met de energie. Zo kunnen bepaalde delen van trainingen worden vervangen door simulaties. “Indien een piloot van een gevechtsvliegtuig bijvoorbeeld gaat trainen, dan moet hij echt de lucht in. Maar de vijand waarmee de piloot traint, hoeft niet per se echt te zijn. Die kunnen we vervangen door een simulatie”, legt Van der Sman uit.

Duurzamere kerosine op korte termijn

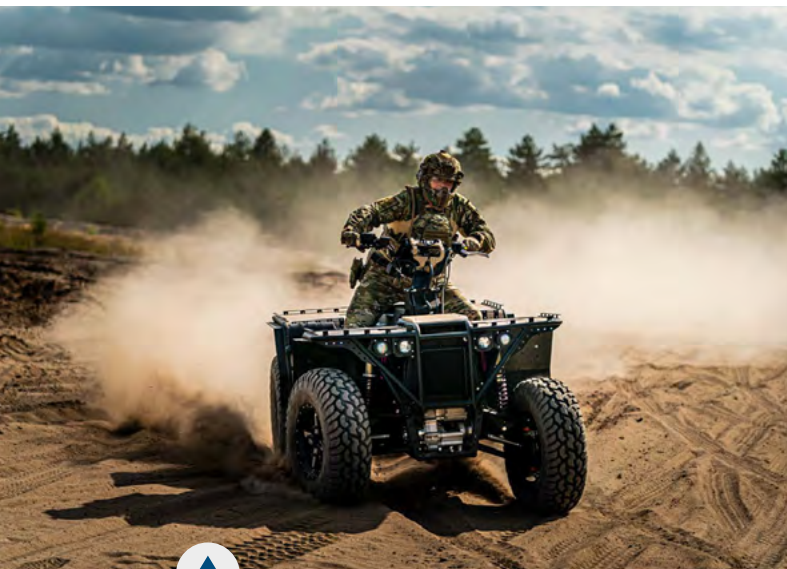
Ook kan het gebruik van vliegtuigen duurzamer, zelfs op korte termijn. Het gebruik van duurzame brandstoffen verkleint de uitstoot vergeleken met fossiele kerosine. Daarom heeft NLR onderzoek gedaan naar het gebruik van *Sustainable Aviation Fuel (SAF)* – kerosine gemaakt van duurzame reststromen – binnen Defensie. Van der Sman: “Het voordeel van SAF is dat het geschikt is voor huidige toestellen, hiervoor zijn geen aanpassingen nodig.”

SAF kan op korte termijn zorgen voor een verduurzamingsslag binnen Defensie. Het is volgens de huidige brandstofstandaarden al mogelijk om de nieuwe brandstof bij te mengen met fossiele brandstof, tot vijftig procent. “Op de vliegbasis in Leeuwarden zijn al pilots gedraaid met het gebruik van SAF en de resultaten zijn tot nu toe veelbelovend”, stelt Van der Sman. Op de langere termijn wil NLR ook

onderzoeken of het mogelijk is om meer dan vijftig procent SAF te gebruiken. Dat betekent dat veel testen opnieuw uitgevoerd moeten worden, bijvoorbeeld door te kijken hoe de motoren reageren op de hogere percentages SAF.

Hybride elektrisch of op waterstof

Binnen het programma onderzoekt NLR ook mogelijkheden om nieuwe vliegtuigen te verbeteren (prestatiewinst) en daarmee duurzamer te maken. Zo zijn er mogelijkheden om de motor van de F-35 efficiënter te maken. Voor helikopters en kleinere toestellen wordt ook gekeken naar een compleet nieuwe en daarmee duurzame aandrijving, bijvoorbeeld op elektriciteit of waterstof. Vaak gaat het dan om hybride systemen. Voor grote toestellen blijft kerosine de norm, zo verwacht Van der Sman. Dan zijn de duurzame brandstofalternatieven van belang.



Elektrisch rijden bij Defensie. prototype van militaire hybride quad
foto: Paul Tolenaar-Leusden, 2 september 2019



De Hybride zeesleper Noordzee In de haven van Den Helder.
Den Helder, 1 Maart 2016.

De complete krijgsmacht

Het programma draait primair om kennisvergaring, een proces waarin NLR samenwerkt met TNO en MARIN. In de eerste fase lag de focus op het verkennen van verschillende technologieën; in de tweede helft ligt de nadruk op implementatie en toepassing. Uiteindelijk bundelen de onderzoekers hun bevindingen in een gezamenlijke rapportage voor Defensie, die alle krijgsmachtdelen omvat.

“Het is essentieel om te kijken naar alle krijgsmachten”, stelt Van der Sman. Zij noemt brandstof als voorbeeld. Uit een productiefaciliteit voor brandstof komt vaak niet alleen kerosine, maar ook diesel - wat op het land nodig is. Afhankelijk van de technologische ontwikkelingen op het gebied van waterstof, zou dit ook in verschillende delen van de krijgsmacht gebruikt kunnen worden. “Dan is het belangrijk om naar het gehele plaatje te kijken, ook om er voor te zorgen dat het logistiek gezien allemaal klopt. We willen de krijgsmacht in zijn geheel verduurzamen en energieonafhankelijk maken.”



Een duurzame luchtvaart gaat verder dan CO₂-uitstoot

Bij de koffieautomaat op kantoor, op het Binnenhof en in de Europese Commissie in Brussel: klimaatverandering en de rol die de luchtvaart daarin speelt, zijn de afgelopen jaren steeds vaker onderwerp van gesprek. Maar waar de wetenschap ruimschoots heeft bewezen dat klimaatverandering gevolgen gaat hebben voor onze planeet, wordt de urgentie om er nu daadwerkelijk naar te handelen in het maatschappelijk debat soms in twijfel getrokken.

Elisabeth van der Sman werkt als consultant en teamleider duurzame luchtvaart bij het Koninklijk Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum (NLR). Ze is onder andere gespecialiseerd in onderzoek naar de impact van duurzame vliegtuigbrandstoffen en nieuwe energiedragers, zoals waterstof, op duurzame luchtvaart. Met haar onderzoek zorgt ze ervoor dat de gesprekken, discussies en debatten worden gevoerd...

“Vermoeing is de belangrijkste oorzaak van problemen met de constructie van een vliegtuig”



Kennisontwikkeling is cruciaal om de inzetbaarheid van Defensie te vergroten

“Mocht de Nederlandse luchtmacht nodig zijn aan de oostflank van het NAVO-grondgebied dan is het belangrijk dat vliegtuigen en helikopters snel beschikbaar en voor langere tijd inzetbaar zijn”, stelt John Dominicus, senior research and development engineer bij NLR. Om de inzetbaarheid van het materieel te waarborgen is kennis nodig.

NLR voert het kennisopbouw-programma Instandhouding Militaire Luchtvaartuigen (IML) uit om de inzetbaarheid van de Nederlandse luchtmacht te helpen waarborgen. “We willen dat Defensie altijd vliegtuigen en helikopters kan inzetten waar en wanneer het nodig is. Daarbij kijken we ook hoe we het onderhoud betaalbaar houden en zo effectief mogelijk kunnen inrichten. En hoe we de nieuwste technologieën daarbij kunnen inzetten”, zegt Dominicus.

Elke vier jaar geeft Defensie aan welke vragen er spelen. Samen met NLR stelt Defensie de focusgebieden op; hierbij kijken de betrokkenen ook naar de actuele ontwikkelingen in de politiek en de maatschappij. Vervolgens kijken NLR en Defensie elk jaar samen wat de concrete activiteiten voor dat jaar zijn. “Zo behoudt het programma flexibiliteit in het onderzoek en kunnen

we makkelijker inspringen op nieuwe ontwikkelingen en vragen”, zegt Dominicus. Al lopen sommige onderzoeken ook over de hele periode van vier jaar.

Sensoren om conditie te meten

Om de inzetbaarheid van militaire luchtvaartuigen te verhogen en vergroten, zijn meerdere onderdelen belangrijk. Het meten van de conditie van een vliegtuig, het snel uitvoeren van reparatie, de voorspelbaarheid van het benodigde onderhoud en het ontwikkelen van nieuwe materialen. Dit zijn ook belangrijke thema's binnen IML. Allereerst de conditie van een vliegtuig of een component. “Stel: een piloot wil morgen de lucht in met een vliegtuig. Dan moet duidelijk zijn hoe het toestel eraan toe is”, aldus Dominicus. Hij vergelijkt het met een fiets. “Voor een lange fietstocht check je ook of je banden op spanning zijn, de remmen werken en de lamp het

doet. Dat check je met je eigen ogen en handen. Bij een vliegtuig kunnen sensoren nuttige informatie geven over de staat van het toestel.”

NLR onderzoekt welke sensoren nodig zijn om de kwaliteit en belastbaarheid van bepaalde componenten te meten. Naast de technologie in de sensor, zijn er nog andere aspecten van belang. Bijvoorbeeld het bepalen van de locatie van de sensor op het toestel. Daarnaast kijken de onderzoekers hoe ze de opgehaalde data het beste kunnen verwerken voor een zo accuraat en compleet mogelijk overzicht.

Vermoeiing detecteren

“Vermoeiing is de belangrijkste oorzaak van problemen met de constructie van een vliegtuig”, stelt Dominicus. Vermoeiing is een mechanisme waarbij het materiaal onder (lage) wisselende belasting - die op zichzelf niet meteen tot breuk leidt - uiteindelijk toch kan bezwijken. Na verloop van tijd kunnen er scheuren, deuken of andere schades ontstaan. Een sensor kan vermoeiing detecteren voordat een component daadwerkelijk kapot gaat. Zo kan Defensie de onderhoudsplanung zo efficiënt mogelijk inrichten en zijn toestellen maximaal inzetbaar.

Efficiënt repareren

Naast het detecteren van mogelijke problemen zoals vermoeiing, is het in het kader van een hoge inzetbaarheid ook belangrijk om reparaties snel uit te voeren als een onderdeel toch kapot is gegaan. Zo wordt bijvoorbeeld gekeken naar het automatiseren van de inspectie van rotorbladen op helikopters. Dat is nu nog handwerk. Iemand slaat met een hamer tegen het blad, de klank verandert wanneer er ergens een loslating zit.

Dominicus: “In de technische onderhoudswereld zijn bovendien steeds minder mensen beschikbaar. Daarom doen we ook veel onderzoek naar het optimaliseren en automatiseren van bepaald werk zodat we met minder mensen evenveel of zelfs meer werk kunnen verzetten. We hebben bijvoorbeeld een *demonstrator* gemaakt waarin een zogenoemde *cobot* samenwerkt met een mens in één ruimte aan één object.” Daarmee kan wel tot vijftig procent besparing gerealiseerd worden.

Materialen

Een ander belangrijk onderdeel binnen het programma is de aandacht voor materialen. Metamaterialen zouden bijvoorbeeld veelbelovend kunnen zijn. Dit zijn materialen met eigenschappen die niet in de natuur

voorkomen. Daarmee kunnen componenten of constructies gemaakt worden met unieke eigenschappen. Door middel van metamaterialen zouden vliegtuigen in de toekomst mogelijk onzichtbaar kunnen worden gemaakt voor radars van andere landen. “Dat is een bijzondere ontwikkeling binnen de militaire luchtvaart.”

Een nieuw materiaal brengt ook nieuwe uitdagingen met zich mee. “Daarom moeten we eerst begrijpen wat de eigenschappen van het nieuwe materiaal precies zijn. Daarna kunnen we gaan kijken wat een nieuw materiaal betekent voor bijvoorbeeld de inspectie- en reparatietechnieken die we gebruiken. Dit heeft ook weer invloed op de mensen die hiermee werken. Over al deze onderdelen bouwen we binnen IML kennis op waar Defensie uiteindelijk weer iets mee kan doen.”

Op weg naar verbetering

Innovaties beginnen altijd met kennis. Fundamenteel onderzoek vanuit universiteiten is vaak het startpunt voor kennisontwikkeling. “Om tot een toepassing te komen is het belangrijk om deze fundamentele kennis om te zetten naar concretere toepassingen. Daarin speelt NLR een belangrijke rol. Wij vervullen de brugfunctie tussen de universiteiten en de industrie.” Met de uitkomsten van de toegepaste onderzoeken binnen NLR, kan Defensie de nodige veranderingen en verbeteringen doorvoeren.

PERIODE
2022 - 2025
NL PROJECTPARTNERS
Ministerie van Defensie, NLDA, Technische Universiteiten en Hogescholen
EU PROJECTPARTNERS
Buitenlandse kennis-instituten (AFRL, DST, AvMC/SRD, ATRI,...)
STRATEGISCH THEMA
Veilige samenleving
NLR-KENNISPROGRAMMA
Operationele beschikbaarheid
OVERHEIDSBELEID
Defensievisie 2035 (1,2)

SAR-CASM: Satellietradar voor conflict-monitoring

De *European Space Agency* (ESA) heeft in het kader van het Copernicus programma radarsatellieten (SAR) in de ruimte gebracht. Deze satellieten maken elke twee tot drie dagen een opname van het aardoppervlak. Alle beelden die deze radars maken, zijn open data. “In aanloop naar een conflict is het in en rond het conflictgebied vaak al langere tijd onrustig, en vinden er voorbereidende activiteiten plaats. Kunnen we ons hiervan beter bewust worden door radardata slimmer te gebruiken? Die vraag vormde de aanleiding voor SAR-CASM”, vertelt de NLR-projectleider.

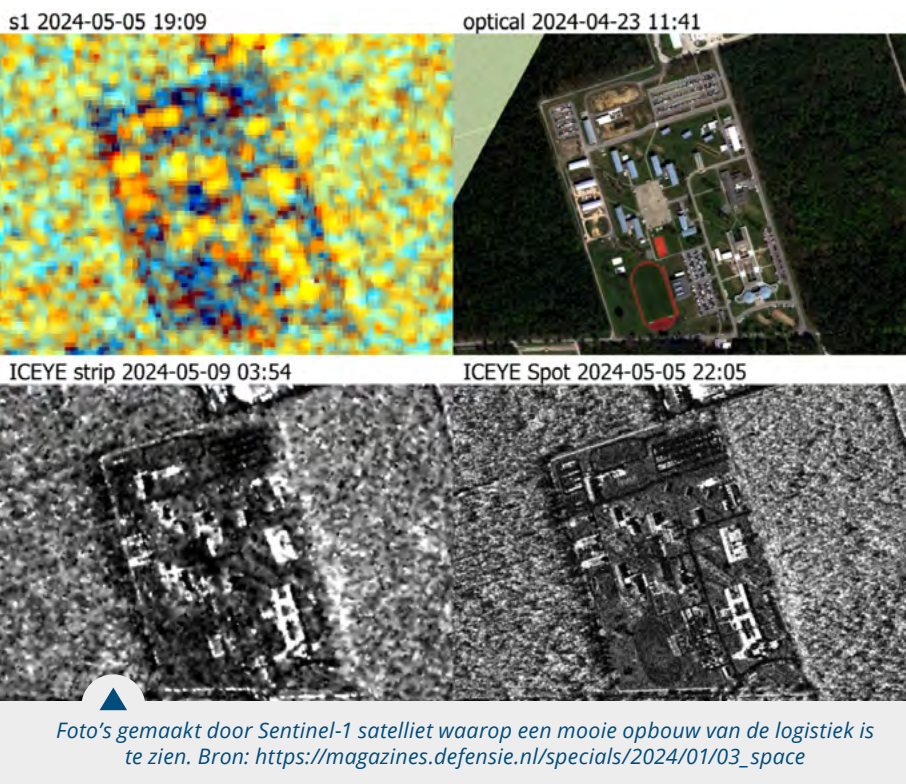
SAR (synthetische apertuurradar) is een geavanceerde radartechniek die de aarde in detail kan observeren, ongeacht de weersomstandigheden of het moment van de dag. Radarsensoren zenden actief radarsignalen uit en ontvangen de reflecties hiervan vanaf de aarde weer op. In tegenstelling tot optische satellietbeelden, wordt SAR niet gehinderd door wolken en duisternis. Dit maakt het een krachtig hulpmiddel voor conflictmonitoring en veiligheidsanalyses.

Het SAR-CASM-project (*Space-based SAR for Conflict and Security Monitoring*) heeft onderzocht of open SAR-data gebruikt kan worden om ontwikkelingen in conflictgebieden beter te onderkennen. NLR heeft, in samenwerking met Defensie en het Nederlandse satellietdata-analysebedrijf S[&]T, diverse datasets verzameld. Deze datasets omvatten gebieden met

voorbereidende militaire activiteiten en Nederlandse militaire oefeningen.

SAR: geavanceerde radartechniek

Het project bestaat uit een analyse van tijdsreeksen van satellietbeelden. Door beelden over langere tijd te vergelijken, konden onderzoekers subtiele veranderingen detecteren die mogelijk duiden op militaire activiteiten. “We hebben delen van een frontliniegebied geanalyseerd. In de loop van een jaar zagen we structuren van verdedigingswerken in het landschap ontstaan. Ook hebben we een aantal militaire bases gemonitord; zijn er eerst veel voertuigen aanwezig, en het volgende moment plots veel minder, dan is dat een sterke indicator. Ook hebben we naar veranderingen in logistieke activiteiten bij een haven gekeken”, vertelt de projectleider*. Tot voorkort was het gebruik van



SAR-data nog heel beperkt. “Omdat de resolutie van de open beelden laag is en een ander karakter heeft dan gewone foto’s, kunnen alleen getrainde analisten iets uit de beelden opmaken. De waardevolle informatie zit ‘m niet in één plaatje, maar in een reeks van beelden en de verschillen tussen bepaalde periodes.”

“De waardevolle informatie zit ‘m niet in één plaatje”

Lagere resolutiebeelden (met pixels van 10 tot 20 meter) zijn geschikt voor het volgen van globale trends en grote gebieden, zoals veranderingen in een stad of de beweging van grote militaire konvooien. In de loop van het project is er ook gekeken naar de mogelijkheden van nieuwe generatie commerciële satellieten met veel hogere resolutie (tot 25 cm detail). Deze beelden zijn preciezer, maar bestrijken een kleiner gebied. “Het is alsof je door een rietje kijkt. De combinatie van beide soorten data is dus essentieel: lage resolutie om brede ontwikkelingen in kaart te brengen, hoge resolutie om specifieke situaties te analyseren.”

- PERIODE
jan 2023 - juni 2024
- NL PROJECTPARTNERS
Defensie, S[&]T
- STRATEGISCH THEMA
Veilige samenleving
- NLR-KENNISPROGRAMMA
Informatiegestuurd opereren (IGO)
- OVERHEIDSBELEID
Defensievisie 2035 (5);
Lange-termijn
Ruimtevaartagenda (1)

*Vanwege veiligheids- en privacyredenen wordt de naam van de geïnterviewde niet vermeld.

Samenwerking met Defensie en bedrijfsleven

Het initiatief voor SAR-CASM kwam voort uit de nauwe samenwerking tussen NLR en Defensie. Defensie had behoefte aan een beter begrip van de mogelijkheden van SAR-technologie en welke operationele en tactische waarde het kan bieden. NLR, met expertise in ruimtevaarttoepassingen, heeft de leiding genomen in het ontwikkelen van analysemethoden en testcases. Een belangrijke partner in dit project was S[&]T, een Nederlands bedrijf gespecialiseerd in satellietdata-analyse. Door hun betrokkenheid heeft het project niet alleen theoretische kennis opgeleverd, maar zijn er ook concrete stappen gezet richting operationele inzet van SAR-data in militaire besluitvorming. Dit sluit aan bij NLR's strategische doel om innovatieve technologieën niet alleen te onderzoeken, maar ook daadwerkelijk toepasbaar te maken voor overheden en bedrijven.

Impact voor Nederland en NLR

“SAR-CASM heeft ervoor gezorgd dat Defensie nu een duidelijker beeld heeft hoe ze open SAR-data kunnen inzetten en wat de potentie is van hoge-resolutie SAR-satellieten. Dit helpt bij het nemen van beslissingen over toekomstige investeringen in ruimtevaarttechnologie”, legt de projectleider uit. Inzichten van dit project dragen bij aan internationale veiligheid en humanitaire hulpverlening. Denk aan de inzet van SAR-data bij vredesmissies of rampenbestrijding.

Van project naar toepassing

Hoewel SAR-CASM inmiddels is afgerond, vormt het project een belangrijke basis voor verdere ontwikkelingen. Er is een *roadmap* voor toekomstige implementatie opgesteld, zodat de methodologie verder kan worden uitgewerkt en geautomatiseerd. Hierbij worden AI en *machine learning* ingezet om de betrouwbaarheid en reactiesnelheid te verhogen, waardoor Defensie en andere instanties sneller en efficiënter kunnen inspelen op veranderingen in conflict- of rampgebieden. “Binnen SAR-CASM hebben we laten zien hoe onze kennis van ruimtevaarttechnologie kan bijdragen aan een veiligere samenleving. Door onze expertise in satellietdata en conflictmonitoring te versterken, helpen we niet alleen Defensie, maar ook de bredere Nederlandse veiligheidssector vooruit”, besluit de projectleider.



INTERVIEW UIT NLR PEOPLE

Zonder ons werk, gaat er geen vliegtuig de lucht in

Als Mechanical Design Engineer bij het Koninklijk Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum (NLR) werkt Shafeeq Kasiemkhan met vliegtuigen, helikopters en raketten die de rest van de wereld pas ziet als ze uiteindelijk jaren later de lucht in gaan.

Het testen en valideren van nieuwe vliegtuigen met windtunnelmodellen is onmisbaar voor de luchtvaart van morgen. De modellen worden gebruikt voor de ontwikkeling van nieuwe vliegtuigtypen en het onderzoek naar innovatieve technologie. Ze stellen vliegtuigfabrikanten in staat om de optimale aerodynamische eigenschappen te bepalen voordat een prototype is gebouwd. Bovendien besparen de simulaties tijd en geld en verbeteren ze de veiligheid omdat eventuele problemen kunnen worden geïdentificeerd en opgelost voordat het nieuwe vliegtuig daadwerkelijk de lucht in gaat.

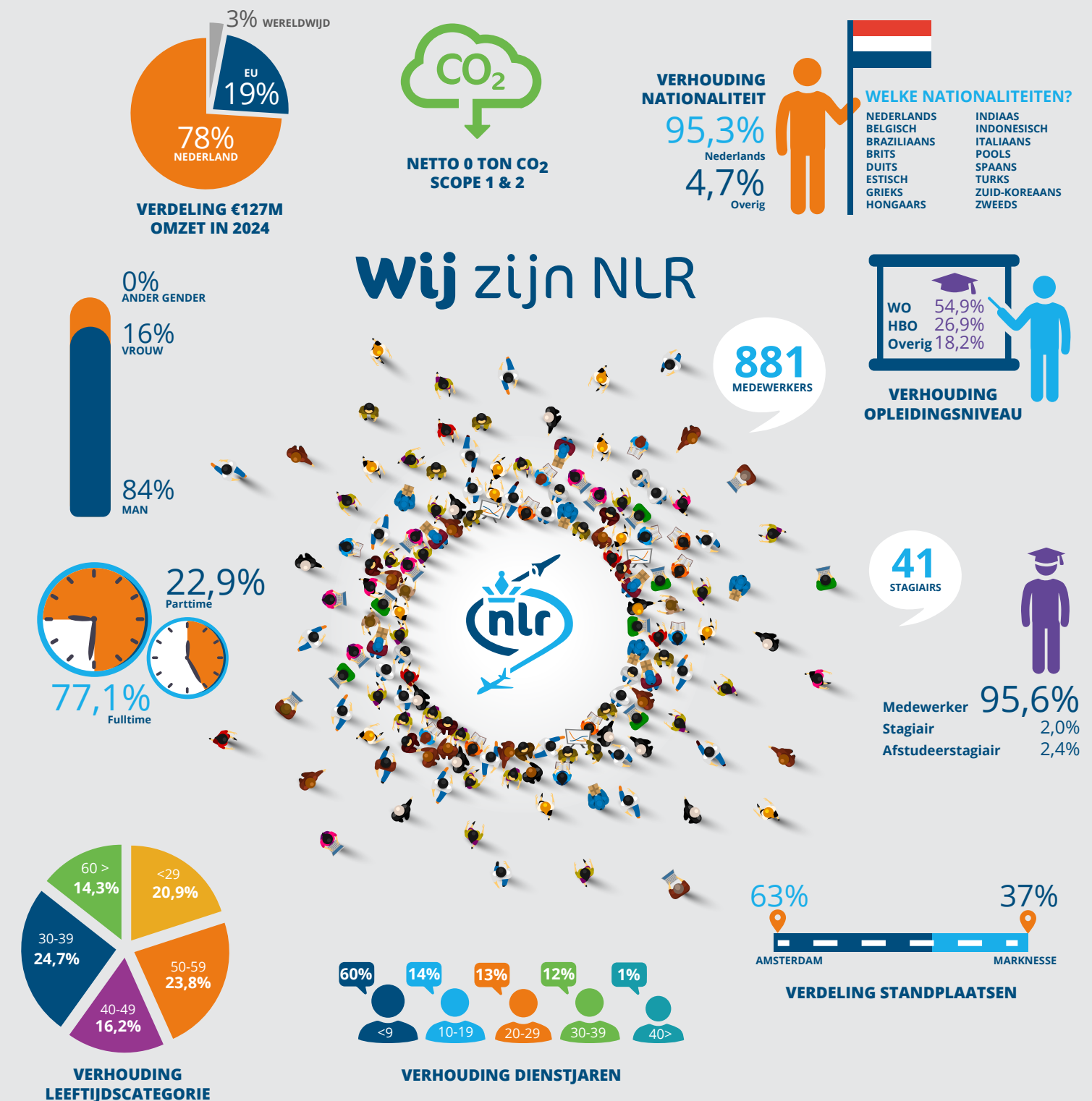
Over Koninklijke NLR

NLR is ruim 100 jaar een ambitieuze toegepast onderzoeksorganisatie, gedreven om te blijven vernieuwen ten behoeve van een duurzame, veilige, efficiënte en effectieve lucht- en ruimtevaart. Op objectieve en onafhankelijke wijze leggen we nu het fundament voor een toekomstgericht betekenisvolle, maatschappelijke impact.

In een snel veranderende wereld zijn de behoeftes op het gebied van mobiliteit en stabiliteit continu in beweging. Bewust van de maatschappelijke urgentie, zorgt NLR ervoor dat kansrijke concepten snel het daglicht zien en transformeren in disruptieve oplossingen dan wel incrementele verbeteringen. Dat kunnen we door de combinatie van diepgaand inzicht in de klantbehoefte, multidisciplinaire expertise en de inzet van onze toonaangevende onderzoeksfaciliteiten. Daarbij vormt NLR in binnen- en buitenland de spilfunctie tussen wetenschap, bedrijfsleven en overheid, en overbruggen we de kloof tussen fundamenteel onderzoek en toepassingen in de praktijk.

NLR neemt het voortouw om Nederlandse en Europese doelstellingen te realiseren. Met onze partners werken we daarbij hard aan een veerkrachtig en duurzaam mobiliteitssysteem, en ondersteunen we de Nederlandse Defensie op alle militaire domeinen waarbij ruimtevaart en cyberspace een alsmaar prominenter rol vervullen. Vanuit de hoofdvestigingen in Amsterdam en Marknesse en onze twee satellietvestigingen draagt NLR zo bij aan een veilige en duurzamere maatschappij, waarbij we de concurrentiepositie van het Nederlandse bedrijfsleven verstevigen.

Voor meer informatie, ga naar www.nlr.org.





NLR Amsterdam

Anthony Fokkerweg 2

1059 CM Amsterdam

t) +31 88 511 31 13

NLR Marknesse

Voorsterweg 31

8316 PR Marknesse

t) +31 88 511 44 44

COLOFON

Fotografie:

NLR Multimedia

pag 6, 17, 40, 50, 53 © Shutterstock

pag 14 © giance-project

pag 56, 58, 65 © ministerie van Defensie

Een aantal projecten heeft financiering ontvangen van de Europese Commissie, waarbij ARAIMFUSE (pag. 21), ADENEAS (pag. 25), IMOTHEP (pag. 32), PENELOPE (pag.37) en SUSTAINair (pag. 47) van het Europese programma Horizon 2020, en GEMOP (pag. 41) van de European Union Agency for the Space Programme (EUSPA). GIANCE (pag. 15) heeft financiering ontvangen van Horizon Europe en van UK Research and Innovation (UKRI).



De hierin uitgedrukte meningen in de projectartikelen weerspiegelen uitsluitend de mening van de auteur. In geen geval is Horizon 2020 of Horizon Europe verantwoordelijk voor het mogelijke gebruik van informatie uit dit document.

e) info@nlr.nl i) www.nlr.org

April 2025