

# Impactrapportage 2025

KENNIS OMZETTEN IN WAARDE





05 Voorwoord



Projecten



74 Over NLR



77 Colofon

### VERWIJZING OVERHEIDSBELEID

- Lange-termijn Ruimtevaartagenda (LTR)
- Kennisagenda Luchtvaart
- IKIA Klimaat en Energie
- Defensievisie 2035
- Sleuteltechnologieën

09 Versnellen van drone-innovatie

21 Veiliger vliegen met quantum-technologie

33 Maatschappelijke impact van luchtvaart

41 Strategisch SAF-gebruik

50 Veiliger vliegen door AI-model

61 Bescherming tegen kwaadwillende drones

11 Lasercommunicatie: snelle en veilige optie

25 Unieke testfaciliteit voor 'groen' vliegen

36 Datagedreven vliegtuigonderhoud

45 SAF onmisbaar bij CO<sub>2</sub>-neutraal vliegen

54 Toekomstbestendige luchtvaart

63 Evacuatie luchtruim bij ruimtepuin

15 Slim en efficiënt vliegtuigonderhoud

27 Nieuwe chip voor betere satellieten

38 Emissievrij vliegen met waterstof

47 Voorspellend vliegtuigonderhoud

57 Het beste team samenstellen met data

67 Eerste dronevlucht op vloeibare waterstof

18 Effectiviteit van laserwapens

30 Beter simulatie van menselijk gedrag

# NLR-impactrapportage 2025

Impact ontstaat niet vanzelf. Tussen een goed idee en een tastbare toepassing ligt een traject van onderzoeken, valideren, verbeteren en samenwerken. Als toegepast onderzoeksorganisatie op het gebied van lucht- en ruimtevaart vervult NLR daarin een centrale rol. Wij opereren in het hart van het valorisatieproces: waar kennis wordt omgezet in waarde. Ons doel is daarbij helder: onderzoek moet leiden tot toepassingen die daadwerkelijk verschil maken voor maatschappij en economie.

In deze editie laten we net zoals voorgaande jaren zien hoe die ambitie concreet wordt. We tonen de vertaling van beleid en strategische doelen naar technologische en maatschappelijke impact. Goed toegepast onderzoek vormt daarbij de brug tussen fundamentele inzichten en praktische implementatie. Daarmee draagt NLR direct bij aan veiligheid, concurrentiekracht, verdienvermogen en duurzaamheid in Nederland en daarbuiten.

De rapportage bevat 20 projecten waaraan wij in 2025 hebben bijgedragen. Samen geven ze een representatief beeld van de breedte van ons werkveld: van defensietoepassingen tot klimaatrelevante oplossingen en van ruimtevaart tot opkomende technologieën. Elk project laat zien hoe innovatie betekenis krijgt.

Innovatie ontstaat overigens zelden in isolatie. In samenwerking met industrie en het mkb versnellen wij ideeën richting markt en maatschappij. Het mkb brengt

daarbij wendbaarheid en ondernemerschap, terwijl NLR kennis, infrastructuur en faciliteiten biedt. Daarom besteden we ook aandacht aan de toegevoegde waarde van het mkb, met deeptech-startups en scale-ups in het bijzonder.

Tot slot besteden we aandacht aan de mensen achter de impact. Want vooruitgang wordt niet alleen gedreven door technologie, maar vooral door toewijding, nieuwsgierigheid en vakmanschap. Onze medewerkers vormen daarmee de kern van onze innovatiekracht.

Met deze rapportage laten we niet alleen zien wat we in 2025 hebben gedaan, maar vooral waarom dat ertoe doet. Ik wens u veel leesplezier met deze nieuwe editie van de NLR-impactrapportage.

Martin Nagelsmit,  
Chief technology officer van NLR

Martin Nagelsmit  
CTO NLR



## STRATEGISCHE THEMA'S



### LUCHT- EN RUIMTEVAART VOOR EEN VEILIGE EN WENDBARE SAMENLEVING

Een technologisch hoogwaardige krijgsmacht is van essentieel belang

[ lees meer... ]



### CONCURREEREND VERMOGEN VAN DE LUCHT- EN RUIMTEVAART

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

[ lees meer... ]



### DUURZAME LUCHT- EN RUIMTEVAART

Om een klimaatneutrale lucht- en ruimtevaart mogelijk te maken is het nodig om in te zetten op radicale innovaties.

[ lees meer... ]



## Wat betekent impact eigenlijk voor de rijksoverheid?

Binnen publiek gefinancierd onderzoek is de term ‘impact’ steeds centraler komen te staan. Voor NLR betekent dit dat onderzoek niet alleen wetenschappelijk of technisch interessant moet zijn, maar ook aantoonbaar moet bijdragen aan beleidsdoelen van de rijksoverheid.

Hoewel ministeries elk hun eigen beleidsprioriteiten hebben, zouden zij zichzelf dezelfde kernvraag kunnen stellen: wat verandert er concreet dankzij toegepast onderzoek? Impact op basis van NLR-werkzaamheden gaat dus niet alleen over kennisontwikkeling en kennisvalorisatie, maar zeker ook over de toepasbaarheid, besluitvorming en maatschappelijke waarde.

Voor het ministerie van Defensie draait beoogde impact met name om operationele effectiviteit en strategische autonomie. Dat geldt voor alle domeinen waar de Nederlandse krijgsmacht actief is. Onderzoek moet bijdragen aan een betere inzetbaarheid van materieel, een betrouwbare informatiepositie, meer slagkracht en minder afhankelijkheid van buitenlandse technologie. Vanuit dat perspectief is impact zichtbaar wanneer innovaties daadwerkelijk hun weg vinden naar doctrines (beschrijvingen van de principes die bepalen hoe de krijgsmacht wordt ingezet), procedures of materieelkeuzes.

*“IenW onderschrijft het belang van de innovatieve onderzoeken die NLR uitvoert voor de gehele luchtvaartsector. De praktische toepasbaarheid van de resultaten leidt er toe dat verbeteringen onderbouwd met data kunnen worden doorgevoerd, wat van grote waarde is”*



**Henri van Faassen,**  
Directeur Luchtvaartstrategie en Weerbaarheid bij het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Bij het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat ligt de nadruk meer op civiele toepassingen gericht op veiligheid, duurzaamheid en uitvoerbaarheid in het mobiliteitssysteem waar luchtvaart een duidelijke rol in speelt. Impact ontstaat hier wanneer onderzoeksresultaten leiden tot meetbare

verbeteringen in luchtvaartveiligheid, emissiereductie of beleidsinstrumenten die praktisch toepasbaar zijn voor sectorpartijen. De waarde van onderzoek wordt daarbij vaak beoordeeld op bruikbaarheid in regelgeving en uitvoeringspraktijk.

*“NLR versterkt met gerichte kennisontwikkeling de technologische slagkracht van onze lucht- en ruimtevaartsector. Door de nauwe samenwerking met ministeries en het verbinden van internationale netwerken aan het nationale ecosysteem levert NLR een essentiële bijdrage aan onze veiligheid, weerbaarheid en verdienvermogen”*

**Niek Lobé,**

Hoofd lucht- en ruimtevaart  
bij het ministerie van  
Economische Zaken en Klimaat



Het ministerie van Economische Zaken en Klimaat kijkt vooral naar economische en innovatie-effecten. Beoogde impact betekent hier dat onderzoek leidt tot versterking van het verdienvermogen, nieuwe ketensamenwerking of versnelling van innovatie in de Nederlandse industrie. De relevantie zit niet alleen in technologische vooruitgang, maar ook in het ontstaan van nieuwe activiteiten, bedrijvigheid en concurrentiekracht.

In alle drie de gevallen betekent dit dat al vroeg in het onderzoeksproces door NLR, samen met de overheid, moet worden nagedacht over waar projectresultaten toe kunnen leiden. Het gaat om het expliciet maken van aannames, het identificeren van gebruikers en het organiseren van interactie tijdens het onderzoek. Maar bovenal biedt de impact NLR een heldere verantwoording richting financiers en maatschappij om zich te blijven inzetten voor gedegen en relevant onderzoek.

*“De Nederlandse krijgsmacht moet de flexibiliteit hebben om in iedere mogelijke situatie adequaat te kunnen handelen. We moeten daarbij in staat zijn om snel een duidelijk beeld te vormen van een situatie of potentiële dreiging, om vervolgens onze middelen doelgericht en effectief in te zetten. Dat geldt voor alle domeinen waarin we actief zijn, dus ook in de ruimte en het cyberdomein. Vanwege de samenhang, complexiteit en dynamiek die daarmee gepaard gaan is het cruciaal dat we daarbij worden ondersteund door partijen die de kennis, kunde en ervaring hebben om overzicht te creëren en inzicht te geven. NLR is op dat gebied al decennia lang één van onze belangrijkste strategische partners”*

**Robert Adang,**

Plaatsvervangend Commandant  
Lucht- en Ruimtestrijdkrachten (CLRS)



*“De industrie brengt vaak geavanceerde technologieën mee”*

## Het versnellen van drone-innovatie voor Defensie

In mei 2025 opende NLR in Marknesse de Quick Response Drone Facility, bedoeld om drones en nieuwe functionaliteiten sneller te ontwikkelen, testen en operationeel te maken. NLR doet dat in nauwe samenwerking met het ministerie van Defensie en (industriële) partners. Wensen uit het veld worden zo snel omgezet in werkende oplossingen.

Voor Defensie is snelle drone-innovatie cruciaal. “De oorlog in Oekraïne laat zien dat dit nodig is om de vijand altijd een stap voor te blijven”, zegt Jorrit van den Eerenbeemt, projectmanager bij NLR. Conventionele processen duren te lang. Dankzij de Quick Response Drone Facility (QRDF) zijn drones of nieuwe drone-functionaliteiten binnen vier tot zes weken al operationeel inzetbaar. Dat is uitdagend, geeft Van den Eerenbeemt toe. “Dit vereist een andere werkwijze en bovendien een intensieve samenwerking tussen NLR, projectpartners TNO en MARIN, Defensie en de industrie.”

De faciliteit fungeert als het ware als achtervang voor het front. Wat militairen in het veld niet direct kunnen repareren of aanpassen, wordt in Nederland opgepakt en versneld doorontwikkeld. Volgens de projectmanager staat er altijd iemand paraat om de telefoon aan te nemen en onmiddellijk de juiste specialisten in te schakelen. “Zo kan bijvoorbeeld een vastgelopen systeem binnen korte tijd worden aangepast en opnieuw operationeel worden gemaakt.”



Er wordt gewerkt zowel aan hardware als aan software voor drones, afhankelijk van het project. Dat gebeurt allemaal in Marknesse: een unieke locatie die veel voordelen biedt. Het gesloten luchtruim en aanwezige testfaciliteiten zoals het Drone Centre en het Automated Composites & Metal Manufacturing and Maintenance Technology Centre maken uitgebreide tests mogelijk.

### Effect op meerdere vlakken

De QRDF heeft effect op meerdere vlakken. “Economisch helpt het Nederland voorop te blijven in drone-innovatie, “terwijl strategisch de krijgsmacht sneller kan reageren op veranderingen in het veld”, legt de projectmanager uit.

### Verbeteren van wat er al is

Inmiddels zijn meer dan tien projecten afgerond. In een daarvan werd een drone die te veel lawaai maakte, significant stiller gemaakt. De systemen die ontwikkeld worden op de QRDF hebben over het algemeen een hoog ontwikkelingsniveau en zijn daarmee direct klaar voor gebruik. “Het gaat meestal om het verbeteren van wat er al is. Vaak hebben systemen die eerder al werden ontwikkeld, alleen nog een kleine update nodig om praktisch inzetbaar te zijn — een kleine aanpassing is soms al voldoende.”

### Samenwerken met de industrie

NLR en partners werken nauw samen met een mix van startups en grotere bedrijven, zoals Emergent Swarm Solutions en Smooth Stone Dynamics. De samenwerking met de industrie zorgt ervoor dat innovaties sneller worden geïmplementeerd, legt Van den Eerenbeemt uit. “De industrie brengt vaak geavanceerde technologieën mee, maar weet niet altijd hoe die werken in samenspel met een drone van Defensie. NLR zorgt voor die vertaling: hoe wordt technologie operationeel inzetbaar? Hoe kan het snel getest en geïmplementeerd worden? Soms moet technologie nog verder ontwikkeld worden. En soms is technologie vrijwel meteen klaar voor gebruik.”

#### PERIODE

2024 - heden

#### PROJECTPARTNERS

TNO, MARIN, MIND

(Defensie)

#### STRATEGISCH THEMA

Een veilige en wendbare

samenleving

#### NLR-KENNISPROGRAMMA

Onbemand en autonoom

#### OVERHEIDSBELEID

Defensievisie 2035

## Lasercommunicatie zorgt voor snelle en veilige verbinding

Nu verloopt communicatie met satellieten voornamelijk via radiogolven. Maar de hoeveelheid data neemt snel toe waardoor er gezocht wordt naar alternatieven. Optische communicatie, via laserstralen, is een veelbelovende innovatie. In een NXTGEN-hightech-project doet NLRonderzoek naar de elektronica in satellieten die nodig is voor lasercommunicatie om sneller en veiliger te communiceren.

“Thuis gingen we van telefoon- en kabelinternet naar glasvezel en in de ruimte maken we nu met lasercommunicatie een zelfde soort ontwikkeling door”, zegt Sybren de Jong, Principal R&D Engineer Space Avionics bij NLR. Binnen het project Laser Satellietcommunicatie wordt gewerkt aan verschillende toepassingen, zoals communicatie tussen satellieten onderling, met de aarde of met vliegtuigen. Lasercommunicatie werkt met een laserstraal, bestaande uit kleine pulsjes van licht die informatie overbrengen. “We werken toe naar een dataverbinding van 1 terabit per seconde. Daarmee is data meer dan honderd keer sneller te versturen dan wat nu mogelijk is met radiogolven”, zegt De Jong.

### De elektronica

NLR is onderdeel van een groot consortium, samen met onder andere TNO en partijen uit de industrie, dat onderzoek doet naar laser-satellietcommunicatie. “In het consortium wordt een complete terminal gemaakt: een apparaat dat informatie kan zenden en ontvangen

met laserstralen. Binnen NLR werken we aan de elektronica en software voor dat systeem”, legt De Jong uit. Het is heel belangrijk dat de zender en ontvanger goed op elkaar gericht zijn, en dat over afstanden tot wel 30.000 kilometer. Daarvoor worden onder andere allerlei beweegbare spiegeltjes gebruikt. Er is speciale elektronica nodig om de spiegels goed aan te sturen.”

### De lancering

De satelliet ‘PAMI-1’ voor Defensie, waarvoor lasercommunicatie binnen het consortium in ontwikkeling is, gaat volgens de huidige planning in 2028 de ruimte in. “We werken vanuit meer fundamenteel onderzoek nu toe naar een prototype dat qua afmeting en gewicht gelijk is aan de elektronica die uiteindelijk gelanceerd wordt”, vertelt De Jong. Het eerste prototype zal naar verwachting met een snelheid tot 2,5 gigabit per seconde kunnen communiceren. “We gaan kijken hoe dat precies gaat in de ruimte en met die ervaring verbeteren we stap voor stap de hardware en de software. De

**PERIODE**

2023 - 2027

**PROJECTPARTNER**

TNO, FSO Instruments  
(joint venture VDL en  
Demcon), Celestia Tech

**STRATEGISCH THEMA**

Een veilige en wendbare  
samenleving

**NLR-KENNISPROGRAMMA**

Space for defence and  
society



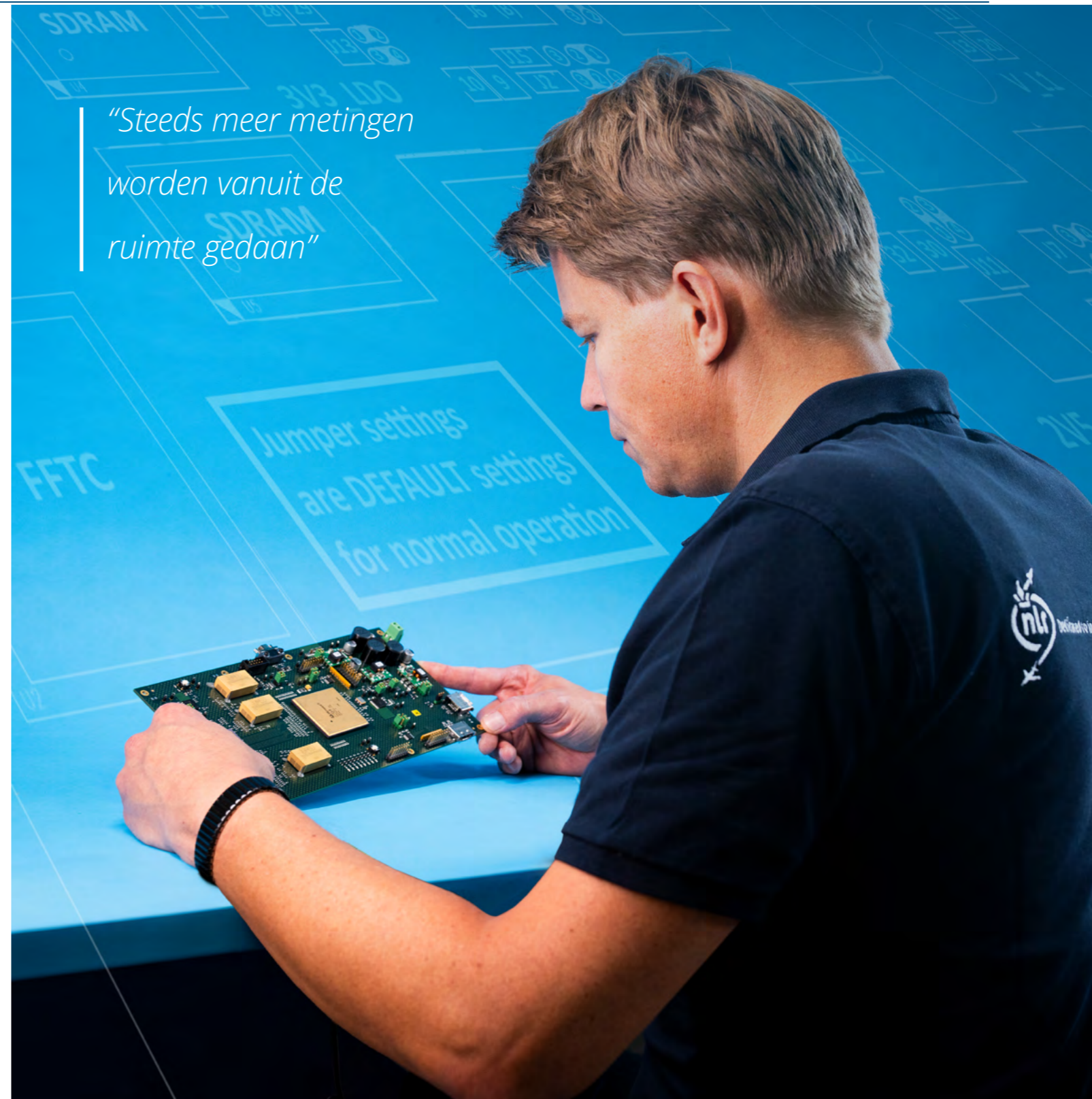
vervolgstap is om naar 100 gigabit per seconde te gaan en uiteindelijk na 2030 een verbinding van 1 terabit per seconde te demonstreren in de ruimte.”

**Cruciale communicatie**

Er zijn ook uiteenlopende civiele toepassingen; een van de belangrijkste is de wifi in het vliegtuig. “Lasercommunicatie tussen de ruimte en de aarde is lastig vanwege wolken en deeltjes in de atmosfeer, maar een vliegtuig vliegt meestal boven de wolken. Dat pakt gunstig uit.” Daarnaast is lasercommunicatie ook belangrijk voor de wetenschap, bijvoorbeeld voor klimaatonderzoek. “Steeds meer metingen worden vanuit de ruimte gedaan, bijvoorbeeld over de luchtkwaliteit en het klimaat.”

De Jong noemt het detecteren van bosbranden als voorbeeld waar de laser-satellietcommunicatie echt een verschil kan maken. “Voorheen kon het wel een uur duren voordat de data van de satelliet bij de eindgebruiker op aarde was. De satelliet moest in zijn baan altijd eerst over een grondstation komen om de informatie te delen. Lasercommunicatie is een belangrijke technologie om een netwerk van satellieten in de ruimte mogelijk te maken en op die manier satellietwaarnemingen vrijwel direct bij de eindgebruiker te krijgen. In het geval van grote bosbranden en andere natuurrampen is dit ontzettend belangrijk; dan telt

“Steeds meer metingen  
worden vanuit de  
ruimte gedaan”



elke minuut.” Dat informatie sneller vanuit de ruimte op aarde is, is belangrijk voor Defensie. “Op militair gebied is het cruciaal om snel gegevens beschikbaar te hebben”, zegt hij. Naast een stabielere en snellere verbinding heeft lasercommunicatie nog een belangrijk voordeel: “Het is veiliger dan radiogolven omdat de veel smallere laserbundel vrijwel niet afgeluisterd kan worden.”

### Goede concurrentiepositie

De samenwerking met de industrie op het gebied van ruimtevaart is van cruciaal belang om uiteindelijk impact te kunnen maken. “Vanuit NLR dragen we bij door middel van kennis en faciliteiten. Ook heeft NLR toegang tot diverse financiële bronnen waarmee we de industrie kunnen ondersteunen met het risicovollere onderzoek en ontwikkeling van technologie.” Daarbij gaat het niet alleen om gevestigde bedrijven, maar ook om startups.

De Jong ziet veel mogelijkheden voor de Nederlandse industrie als het gaat om de ontwikkeling en productie van technologie voor laser-satellietcommunicatie. “Alle ingrediënten om dit tot een succes te maken zijn aanwezig”, zegt hij. Het gaat dan zowel om kennis bij onderzoekinstellingen als om de juiste industriële partijen. “In andere delen van de wereld wordt hier ook veel onderzoek naar gedaan. Om onze concurrentiepositie en onafhankelijkheid te behouden, is het belangrijk dat we samen sterk inzetten op deze baanbrekende innovatie.”



#### Ruimtevaartambities samen waarmaken

*Rik Bosma is voortdurend op zoek naar mogelijkheden om impact te maken op de wereld. Hij leeft en werkt volgens het motto: “steek je kop boven het maaiveld uit. Dan word je gezien en kun je echt impact maken.” Naast zijn ambities om het verschil te maken, heeft hij al zijn hele leven een fascinatie voor het heelal. Dit komt nu samen in zijn functie als programmaleider van het nieuwe kennisprogramma Space for Defence and Society binnen NLR.*

*Zijn loopbaan begon met de studies industriële automatisering en computer science. “Twee opleidingen die technisch breed zijn, van werktuigbouwkunde tot software engineering en van elektro- tot regeltechniek. Daar kon ik dus nog alle kanten mee op.” De eerste jaren van zijn carrière werkte Rik voornamelijk met virtual reality, AI en Internet of Things. “Ik bouwde vooral demonstraties om te laten zien wat er allemaal kan. Maar grote projecten met echte resultaten, die waren er niet veel.” Daarom ging hij op zoek naar een baan met meer impact. Hij besloot te solliciteren bij NLR.*

## Sterkere luchtvaartindustrie door slim en efficiënt onderhoud

Slim onderhoud aan vliegtuigen draagt bij aan een sterkere en schonere luchtvaartindustrie. Onderzoeksproject BrightSky zoekt naar verbeteringen in het onderhoud door middel van de nieuwste technologie, zoals inspectierobots. NLR helpt bedrijven bij de vertaalslag van onderzoek naar de praktijk.

Een vaak onderbelicht maar onmisbaar onderdeel van de luchtvaart is het onderhoud. Dagelijks worden er kwaliteitscontroles en onderhoudswerkzaamheden uitgevoerd, veelal zonder dat passagiers het merken. “We zijn als maatschappij steeds afhankelijker van technologie. Daarom is het steeds belangrijker dat we deze toestellen in bedrijf houden door middel van onderhoud”, zegt Arjan de Jong, principal R&D engineer bij NLR en hoogleraar Aerospace Maintenance Technology & Management aan de Universiteit Twente.

Het onderzoeksproject BrightSky is gericht op het verbeteren van het onderhoud in de Nederlandse luchtvaart en tegelijkertijd draagt het bij aan de vergroening van de sector. “In plaats van onderdelen of vliegtuigen af te danken, repareren we ze weer. Dat is een belangrijke stap richting een circulaire economie”, zegt De Jong. Omdat vliegtuigtechnologie steeds verbetert, moeten onderhoudsbedrijven ook innoveren. “Als er nieuwe technologie gebruikt wordt in een toestel, dan moeten onderhoudsbedrijven gelijke tred houden. Zij

moeten er uiteindelijk voor zorgen dat het blijft werken”, zegt De Jong.

### Economisch en maatschappelijk belang

Binnen BrightSky wordt gekeken naar drie pijlers: nieuwe technologie, sociale innovatie en duurzaamheid. De Jong: “Slim en efficiënt werken door middel van de nieuwste technologie versterkt het economische aspect binnen de luchtvaart. Daarnaast kan slim en efficiënt werken bijdragen aan het verduurzamen van het onderhoud en zelfs van de complete vliegoperatie. De laatste doelstelling in het project is gericht op de werknemers. We willen de sector aantrekkelijker maken door vervelend, vies en onveilig werk door robots uit te laten voeren.”

NLR doet toegepast onderzoek in alle drie de pijlers. “We bouwen bijvoorbeeld een simulator waarmee onderhoudsmonteurs het uitvoeren van zogenaamde engine ground runs kunnen oefenen, om zo brandstof voor die motortesten te besparen. Dat zorgt niet alleen

**PERIODE**

2021 - 2026

**PROJECTPARTNERS**

Jet Support, KLM,  
Schiphol, Hogeschool  
van Amsterdam, TU Delft  
T-Hive, S&T, Vanderlande,  
TNO, DT-Solutions, ILIAS,  
OneLogistics, SAMXL, Robo  
House.

**STRATEGISCH THEMA**

Concurrerend vermogen van  
de lucht- en ruimtevaart

**NLR-KENNISPROGRAMMA**

Operationele  
beschikbaarheid van  
materieel

**OVERHEIDSBELEID**

Kennisagenda Luchtvaart



*“We zijn als maatschappij steeds  
afhankelijker van technologie”*

voor efficiëntie tijdens de testen, maar ook voor minder uitstoot”, aldus De Jong. De volgende stap: robots die kunnen helpen bij het uitvoeren van inspecties van bijvoorbeeld motoronderdelen.

**Onderhoud voorspellen**

Daarnaast proberen de onderzoekers met nieuwe technologie te voorspellen wanneer een onderdeel kapotgaat, zodat we het op het juiste moment kunnen vervangen. “Dit betekent dat we bijvoorbeeld ook de logistiek rond het versturen van onderdelen over de hele wereld beter kunnen voorspellen en efficiënter kunnen organiseren.” Bovendien kunnen robots er in de toekomst voor zorgen dat mensen geen vervelende, vieze of gevaarlijke taken meer hoeven uit te voeren.

Daarnaast is binnen BrightSky gekeken naar manieren om met de nieuwste technologie op afstand toezicht te kunnen houden op het werk. “Het zou ontzettend helpen als iemand met een slimme bril op afstand mee kan kijken met de werkzaamheden van een collega. Dan hoef je niet meer daadwerkelijk naast iemand te staan. Dat scheelt tijd en zorgt uiteindelijk ook voor een kostenbesparing.”

**Focus op uitvoering**

NLR wil de kloof tussen wetenschappelijk onderzoek en toepassing in de praktijk dicht. “In de onderhoudssector ligt de focus op de uitvoering. Bedrijven zijn op zoek naar technologie die ze relatief snel kunnen

gebruiken”, ziet De Jong. Maar nieuwe technologie implementeren is niet makkelijk. “Er gelden heel strenge regels. NLR heeft hierover een hele boel kennis in huis en kan bedrijven waar nodig ondersteunen. Daarmee kunnen we het verschil maken.”

**Engineer en hoogleraar**

Arjan de Jong is naast zijn functie binnen NLR in 2024 benoemd tot hoogleraar Aerospace Maintenance Technology and Management aan de Universiteit Twente. “Een dag in de week ben ik in Twente te vinden om les te geven over het onderhoud van technische systemen. Zo kan ik mijn enthousiasme voor vliegtuigonderhoud doorgeven aan een nieuwe generatie. Dat is een mooie aanvulling op mijn werk bij NLR.”



# Laserwapens als antwoord op oorlogsdrones

Een laserwapen is een veelbelovende innovatie als antwoord op de opkomst van drones in oorlogssituaties. Het is een snelle en relatief goedkope manier om drones te onderscheppen. NLR onderzoekt samen met TNO de effectiviteit van zo'n wapen, de veiligheidsaspecten en de inzetmogelijkheden voor de krijgsmacht.

In conflicten worden tegenwoordig steeds vaker grote aantallen drones ingezet. "De huidige radarsystemen detecteren de drones vaak niet goed en om ze uit de lucht te halen, wordt groot en duur luchtafweergeschut ingezet. Dat staat niet in verhouding tot de relatief kleine en goedkope drones", zegt een expert bij NLR\*. Zelfs met de grote en dure wapensystemen lukt het niet altijd om een zwerm drones uit te schakelen, waardoor een deel alsnog het doelwit bereikt. Laserwapens kunnen hier een oplossing voor zijn. Een object in de lucht, zoals een drone, wordt in een fractie van een seconde aangestraald en daarna met een krachtige en gerichte laserstraal uitgeschakeld.

## Geen losse munitie

Daarnaast ziet de expert nog een belangrijk voordeel van laserwapens: er is geen losse munitie voor nodig. "De logistiek rondom de munitie, het leveren van de juiste hoeveelheden op de juiste locaties, is een uitdaging in een oorlog. In een conflictgebied kun je niet zomaar met

een vrachtwagen naar binnen rijden. Voor het gebruik van een laserwapen is geen dure munitie nodig, alleen elektrische voeding via een accupakket of aggregaat."

## Korte afstanden

Een laserwapen werkt het beste als het object binnen een paar kilometer is. "Het afgelopen jaar hoorde je veel berichten over onbekende drones bij luchthavens door heel Europa. Dat zijn situaties waarop een laserwapen in de toekomst uitkomst zou kunnen bieden", zegt de expert. Voor langere afstanden is een laserwapen minder geschikt. De lichtstraal kan door kleine, onzichtbare deeltjes in de lucht, aerosolen, verstrooid raken. "Daardoor verliest de laser over een langere afstand de effectiviteit."

## De gevaren van reflectie

Naast de vele voordelen zijn er – zoals bij ieder wapen – ook nadelen bij het gebruik van laserwapens. "We kunnen te maken krijgen met reflecties van de lichtstralen door

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

*"Voor het gebruik van een laserwapen is geen dure munitie nodig"*

### PERIODE

2024 - 2027

### PROJECTPARTNERS

TNO

### STRATEGISCH THEMA

Een veilige en wendbare samenleving

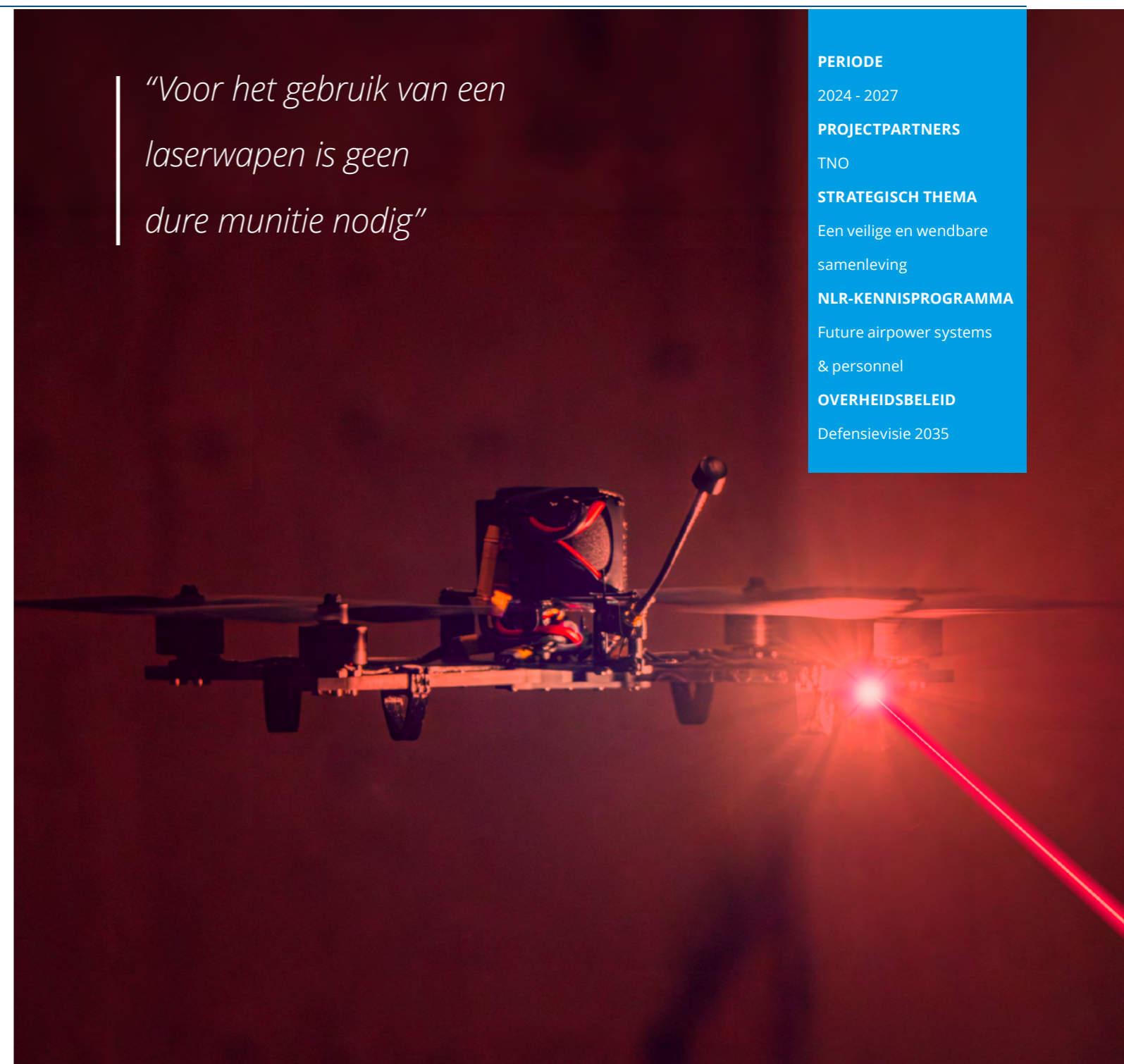
### NLR-KENNISPROGRAMMA

Future airpower systems

& personnel

### OVERHEIDSBELEID

Defensievisie 2035



De getoonde laserstraal is illustratief en is in werkelijkheid niet zichtbaar met het menselijke oog

**TESTIMONIAL UIT STARTUP-PROGRAMMA**

Emergent is een startup die zich richt op de ontwikkeling van software voor autonome en drones die in zwermen opereren. Ze hebben een heldere visie en een sterke drive om hun technologie te ontwikkelen en te innoveren. Met de steun van NLR én door hun eigen doorzettingsvermogen zijn ze klaar om de wereld van drones te veroveren.

*Door de samenwerking met NLR worden we gepusht om binnen een korte tijd te kunnen leveren, zonder op kwaliteit in te leveren. Daarnaast levert het voor ons technische validatie door een gerenommeerde organisatie”, aldus CEO en mede-oprichter Lennart Bult.*



spiegelende oppervlaktes van het doelwit. Als de reflecties in iemands ogen terecht komen, kan die persoon blind worden.” Daarom doet NLR hier in dit project uitvoerig onderzoek naar. “Op basis van de onderzoeken lijkt het risico van reflecties vooralsnog mee te vallen.”

**Van theorie naar implementatie**

NLR doet inmiddels al ruim tien jaar onderzoek naar laserwapens in opdracht van het ministerie van Defensie om de veilige en effectieve inzet mogelijk te maken. “We gebruiken de eerder opgedane kennis om steeds een stapje verder te komen. Daarbij gaat het niet alleen om de theorie, maar ook om het opdoen van praktische ervaring via lab- en veldtesten. Zodra het veilig in de praktijk kan worden ingezet, is het aan de industrie om het verder te ontwikkelen. Daarbij kunnen we bedrijven wel ondersteunen. Wij vervullen daarmee een brugfunctie tussen Defensie en de bedrijven. Op dit moment hebben verschillende Europese landen demonstrators gebouwd om onderzoek te doen naar laserwapens. De wapens worden op kleine schaal al in operationele omgevingen ingezet, maar dit heeft vaak nog een demonstratief karakter.” De NLR-expert verwacht dat de krijgsmacht de wapens binnen een paar jaar echt kan gebruiken.

**Grotere objecten**

“Er wordt ook onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om grotere objecten, zoals raketten, te bestrijden met laserwapens. Daar is een veel sterker laserwapen voor nodig met zo’n factor 10 meer energie ten opzichte van de huidige demonstrators. Het zal nog wel even duren voordat dat gebruikt kan worden.”

## Quantum biedt kansen voor veiligere luchtvaart

Quantumtechnologie biedt mogelijkheden om de luchtvaart efficiënter en veiliger te maken. Zo kan de kwetsbare navigatie via satellieten deels vervangen worden door een kaart op basis van magnetische velden. In het programma Opkomende Technologieën onderzoekt NLR innovaties in de luchtvaart en kijkt naar de mogelijkheden van implementatie.

Quantumtechnologie belooft de wereld te veranderen. Binnen het programma Opkomende Technologieën onderzoekt NLR wat de technologie voor de luchtvaart kan betekenen. Er zijn drie deelgebieden binnen de quantumtechnologie: sensoren, communicatie en computing. De quantumsensoren zijn op dit moment in een vergevorderd stadium en kunnen echt een verschil maken in de luchtvaart.

Alle klassieke meetinstrumenten kunnen vervangen worden door een quantumvariant, bijvoorbeeld een thermo-, baro- of snelheidsmeter, een ontvanger voor radiosignalen en een instrument voor het meten van magnetische velden. “Deze sensoren zijn over het algemeen significant nauwkeuriger dan de huidige variant”, zegt Harmen van der Ven, leider van het programma Opkomende Technologieën.

**Veilige navigatie**

Door middel van quantumsensoren kan de vliegtuignavigatie aanzienlijk veiliger worden. Deze sensoren kunnen het aardmagnetisch veld goed in kaart brengen. Door de aardkorst, en met name de onzuiverheden hierin, ontstaan er veranderingen in het aardmagnetisch veld. “Op basis van deze gegevens kun je een kaart maken”, legt Van der Ven uit. Zo is het mogelijk om te navigeren zonder satellieten. “Dat is zeker voor defensievliegtuigen een stuk veiliger dan de huidige satellietnavigatie die gekamd kan worden. Dat kan niet met navigatie op basis van het aardmagnetisch veld. Ook voor het gebruik in wapens kan het een verschil maken. We willen immers zeker zijn dat de wapens aankomen op de plek waarvoor ze bedoeld zijn”, gaat hij verder. Vanwege de duidelijke link met het onderwerp veiligheid is het ministerie van Defensie nauw betrokken bij het onderzoek.

**PERIODE**

2022 - 2026

**PROJECTPARTNERS**

Universiteit van Amsterdam,  
TU Delft, TNO en het  
ministerie van Defensie

**NLR-KENNISPROGRAMMA**

Opkomende technologieën

**OVERHEIDSBELEID**

Sleuteltechnologieën

Navigatie op basis van het aardmagnetisch veld zal de traditionele navigatie niet helemaal vervangen; zij is een aanvulling voor extra veiligheid en zekerheid. Van der Ven: "Op basis van het aardmagnetisch veld kun je bijvoorbeeld zien of je in een vlak gebied bent of in de bergen. Maar tot op straatniveau navigeren is niet mogelijk."

**Veiliger vliegen**

De tweede toepassing van quantumtechnologie is communicatie. "Hierbij gaat het vooral over veiligheid en encryptie, zodat de vijand niet kan meeluisteren." Het laatste onderdeel is de quantumcomputer. Van der Ven benadrukt dat de quantumcomputer een aanvulling is op de klassieke computer en geen vervanging. "Een quantumcomputer is veel beter en veel sneller in het uitvoeren van specifieke taken. Het gaat dan met name over het oplossen van zoek- en optimalisatieproblemen, makkelijk gezegd: deze computer kan heel snel en succesvol een speld in een hooiberg vinden." Dat is in de luchtvaart interessant omdat het kan bijdragen aan het verbeteren van de veiligheid. Van der Ven: "We doen al heel uitgebreide risicoanalyses en gelukkig storten vliegtuigen al bijna nooit neer. Maar met een quantumcomputer zouden we de kans op een ongeluk nog verder kunnen verkleinen."

**Kennis implementeren**

Binnen het programma Opkomende Technologieën worden naast quantum ook nog andere ontwikkelingen onderzocht, bijvoorbeeld biotechnologie en specifieke onderdelen van artificial intelligence (AI). Van der Ven en zijn team houden naast hun eigen expertisegebied ook de technologische ontwikkelingen buiten de luchtvaart in de gaten. Voor een aantal onderwerpen gaan ze verder op onderzoek uit, bijvoorbeeld door gesprekken te voeren met gespecialiseerde wetenschappers. "Zo kijken we wat een nieuwe technologie voor de lucht- en ruimtevaart kan betekenen", vertelt hij.

*Met quantumsensoren is  
het mogelijk om te navigeren  
zonder satellieten*

Als er kansen zijn, dan gaat het team binnen NLR verder experimenteren met de technologie. Mochten er daarbij genoeg aanknopingspunten zijn, dan wordt een plek gezocht binnen NLR, bijvoorbeeld op een specifieke afdeling of in samenwerking met een andere organisatie.

**Verbinden**

In het geval van quantumtechnologie zijn relatief veel startups actief. "Het is een nieuwe technologie, waarvan nu de eerste onderdelen het lab uitkomen. Dat biedt ook mogelijkheden om te kijken naar de commerciële kansen." NLR werkt graag samen met startups om de technologische kennis van de startups te verbinden met NLR's kennis op het gebied van lucht- en ruimtevaart. "Bovendien hebben wij ook weer connecties met partijen, zoals Defensie, die geïnteresseerd zijn in het gebruik van de technologie."

**TESTIMONIAL UIT STARTUP-PROGRAMMA**

Fermioniq is een ambitieuze startup die de grenzen van computerkracht verlegt. Terwijl de wereld wacht op de perfecte quantumcomputer, ontwikkelt dit team software die de kracht van quantum-algoritmes nu al naar de praktijk probeert te brengen. NLR biedt Fermioniq de ruimte om hun gedurfde technologie te toetsen aan de huidige wetenschappelijke kaders en te valideren in praktische toepassingen.

*"De visie van NLR om kennis actief ter beschikking te stellen aan startups is verfrissend. Je krijgt niet alleen toegang tot technische details op het diepste niveau, maar je wordt onderdeel van een netwerk dat deuren opent naar de toekomst", zegt het team van Fermioniq*

**PERIODE**

2023 - 2025

**STRATEGISCH THEMA**Duurzame lucht- en  
ruimtevaart**NLR-KENNISPROGRAMMA**

Klimaatneutrale luchtvaart

**OVERHEIDSBELEID**

IKIA Klimaat en Energie

*“Het is onze rol om  
altijd vooruit te  
blijven denken”*



## Nieuwe testfaciliteit ondersteunt groene luchtvaart

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

De Energy To Propulsion Test Facility (EPTF) werd, na een ontwikkelperiode van ruim twee jaar, in november 2025 feestelijk geopend. “Grote namen zoals Airbus en ASML kwamen spreken en er was veel belangstelling voor de testfaciliteit vanuit verschillende Europese landen”, blikt Paul Arendsen, initiatiefnemer van de EPTF en leider van de afdeling Structures Testing and Evaluation bij NLR, terug.

Er zijn verschillende opties om de aandrijving van vliegtuigen, het geheel van onderdelen om brandstof om te zetten in voortstuwingsenergie, te verduurzamen. Voor korte afstanden zijn batterijen geschikt, voor lange afstanden biedt waterstof een uitkomst. “Gasvormige waterstof is niet zwaar, maar volumineus, en daardoor lastig mee te nemen. Je kunt het gas comprimeren, maar dan moet de tank heel sterk zijn en wordt daardoor te zwaar. Daarom is een vloeibare vorm de enige manier

om het mee te nemen”, legt Arendsen uit. Al zitten daar ook de nodige uitdagingen aan. Om waterstof vloeibaar te houden, moet het -253 graden Celsius zijn.

### Unieke faciliteit

In de EPTF worden op dit moment voornamelijk testen gedaan voor aandrijflijnen op basis van gasvormige en vloeibare waterstof. Zo werd binnen het project HYPOTRADE de aandrijving van het nieuwe vliegtuig van Pipistrel, de Miniliner, getest. “Wat de faciliteit uniek maakt, is dat we niet alleen de losse onderdelen, maar de hele aandrijflijn kunnen testen”, zegt Arendsen. Gaat er niet te veel energie verloren? Wordt het geheel niet te warm? Hoe snel reageert de brandstofcel, die de waterstof omzet in elektriciteit, bij veranderingen? Op dergelijke vragen kan via de EPTF een antwoord worden gevonden.

De testfaciliteit is een hal die aan alle kanten open kan. “Er zijn geen vaste muren, alleen maar schuifdeuren. Hierdoor is er veel ventilatie en beperken we het explosiegevaar”, zegt hij. Daarnaast zijn er alle facetten die nodig kunnen zijn voor de test, zoals waterstof, zuurstof, stikstof en voldoende elektriciteit.

### Van wetenschap naar praktijk

Grote en kleine partijen uit binnen- en buitenland kunnen zich bij NLR melden om gebruik te maken van de EPTF. Arendsen: “We vinden het belangrijk dat er niet alleen ruimte is voor de grote bedrijven, maar ook voor startups of mkb’ers die iets willen testen. NLR ondersteunt met technische kennis en helpt bij het zorgen voor de juiste veiligheidsvoorschriften en vergunningen.”

### Drie kleuren groen

De uiteindelijke impact zit op drie vlakken, zegt Arendsen. Hij noemt drie kleuren groen. “Ten eerste is het klimaatgroen. We hebben de faciliteit nodig om in 2035 de eerste vliegtuigen te kunnen bouwen met een duurzamere aandrijflijn. Daarmee kunnen we dan in 2050 op grote schaal klimaatneutraal vliegen.” Daarnaast levert het ook economisch voordeel op als we als Nederland en Europa vooroplopen in de ontwikkeling van de duurzame vliegtuigen en vliegvelden. “Dollargroen dus.” Tot slot levert snelle implementatie van de technologie een tactisch voordeel op voor Defensie. “Het zorgt ervoor dat we onafhankelijk zijn in onze energievoorziening en daarmee is het legergroen.”

De eerste testen van 2026 in de EPTF staan al op de planning. “We gaan, als de vergunningen en de veiligheidsdocumentatie rond zijn, onder andere testen met een grotere tank vloeibare waterstof dan waar we tot nu toe mee hebben gewerkt”, vertelt Arendsen. Daarnaast denkt NLR al een stap verder. “We onderzoeken de mogelijkheden van supergeleiding in de luchtvaart. Bij supergeleiding valt een groot deel van de elektrische weerstand weg, waardoor er veel elektriciteit door een heel dun kabeltje gaat. Bij enkele materialen treedt supergeleiding op bij ongeveer -240 graden Celsius, zodat we de opgeslagen kou in de vloeibare waterstof kunnen gebruiken als koelmiddel”. Hiervoor is NLR betrokken bij een project van het nationale programma Luchtvaart in Transitie. “Het is onze rol om altijd vooruit te blijven denken.”



## Deze nieuwe processor zorgt voor robuuste satellieten

Een nieuw type microprocessor kan een groot verschil maken in de ruimtevaart. NLR onderzoekt hoe deze RISC-V-processor – het brein van een apparaat – gebruikt kan worden om ruimtevaarttechnologie betrouwbaarder te maken. Daarvoor moet het tegen de hoge stralingsdruk kunnen om lang mee te gaan.

De onderzoeken naar de RISC-V-processor zijn onderdeel van het Project TRISTAN, dat valt onder de European Chips Act. Binnen het project werken verschillende landen aan het verbeteren van het ecosysteem rond de processorfamilie RISC-V voor diverse toepassingen. Het Nederlandse consortium werkt aan de ontwikkeling van een RISC-V-processor voor de ruimtevaart.

“Dit type processor is gebaseerd op een open standaard, waardoor alles traceerbaar is en je precies weet hoe de architectuur in elkaar zit. Het geeft ons de mogelijkheid om aanpassingen te doen voor verbeterde robuustheid en veiligheid, wat heel belangrijk is in de ruimtevaart. Voor veel gebruikelijke processoren is dat niet het geval.”, zegt Sybren de Jong, principal R&D engineer Space Avionics bij NLR.

### Bestand tegen straling

Niet alle processoren zijn geschikt voor satellieten. “In de ruimte hebben we te maken met een stralingsomgeving

die veel intenser is dan op aarde. Daar moet de elektronica tegen bestand zijn”, legt De Jong uit. De atmosfeer en de magnetosfeer rond de aarde houden een groot deel van de straling tegen, in de ruimte is deze bescherming er niet. Het Nederlandse bedrijf Technolution heeft een RISC-V-processor voor de ruimte ontwikkeld en NLR doet onderzoek om te kijken of het robuust genoeg is voor een sterke stralingsomgeving.

In de ruimte is er een combinatie van de altijd aanwezige zwakke achtergrondstraling en momenten met grote hoeveelheden geladen deeltjes, onder andere afkomstig van de zon. “Tegen de zwakke achtergrondstraling kunnen we de elektronica beschermen met bijvoorbeeld een laag aluminium, maar hoog-energetische deeltjes kunnen dwars door de structuur van een satelliet heen gaan. Hierdoor kan een bit veranderen waardoor de elektronica niet meer goed werkt of er kan zelfs kortsluiting optreden”, zegt De Jong.

**PERIODE**

2023 - 2026

**PROJECTPARTNERS**

EU-consortium, met een Nederlands team bestaande uit Technolution, Irdeto, Universiteit Twente  
zie: [tristan-project.eu](http://tristan-project.eu)

**STRATEGISCH THEMA**

Concurrerend vermogen van de lucht- en ruimtevaart

**NLR-KENNISPROGRAMMA**

Space for defence and society

**OVERHEIDSBELEID**

Lange-termijn  
Ruimtevaartagenda (LTR)

**Uitvoerig testen**

NLR heeft een prototype rond de processor gebouwd met alle benodigde hardware en software. “Op die manier konden we diverse varianten van de RISC-V-processor, met representatieve operaties van satellieten, testen”, gaat hij verder. Voor de testen heeft NLR gebruikgemaakt van de onderzoeksfaciliteit Holland PTC in Delft. “Wij hebben hier protonen op onze elektronica afgevuurd om te ontdekken wat er gebeurt.”

Naast de protonentesten is er in het onderzoek ook gekeken naar de effecten van zware ionenstraling. Deze testen vonden plaats bij het onderzoeksinstituut CERN in Zwitserland. In de ruimte krijgen satellieten te maken met beide vormen van straling. De Jong: “Op basis van de resultaten kijken we wat we kunnen doen om de negatieve effecten te beperken.”

**Betrouwbare satellieten**

De toepassing van de RISC-V-processor heeft een belangrijke impact: het zorgt voor betrouwbare ruimtevaarttechnologie en dus een langere levensduur van satellieten, zegt De Jong. “Dat is belangrijk omdat we steeds meer afhankelijk worden van de infrastructuur in de ruimte. Ook hoef je minder vaak een nieuwe satelliet te lanceren als de levensduur langer is. Dat vind ik vooral belangrijk vanwege de mogelijk nadelige effecten op de atmosfeer als satellieten na hun levensduur daarin verbranden. We moeten inzetten op technologie die lang meegaat.”

*“Hoog-energetische deeltjes kunnen dwars door de structuur van een satelliet heen gaan”*

Bovendien draagt het bij aan de Europese onafhankelijkheid in de ruimte. “Door deze technologie zelf te ontwikkelen, zijn we minder afhankelijk van Amerikaanse partijen.” Want, zo ziet De Jong, de ruimte is naast de lucht, het land en het water het vierde domein geworden op het gebied van Defensie. “Betere satellieten kunnen bijdragen aan onze veiligheid. Daarom zien we ook dat er binnen het ministerie van Defensie veel aandacht is voor deze ontwikkelingen.”

NLR wil het Nederlandse expertisecentrum op het gebied van stralingseffecten worden. “Er zijn maar weinig partijen die hiermee bezig zijn en het is een ontzettend belangrijk aspect in onderzoek naar ruimtevaarttechnologie”, stelt De Jong. Nederland kan een grote rol spelen in de ontwikkeling van deze nieuwe chips. “In Nederland doen we al veel op het gebied van ruimtevaarttechnologie en het zou goed zijn als we ons ecosysteem op dit gebied versterken zodat we een goede positie hebben binnen Europa.”

## Inzicht in menselijk gedrag verbetert training voor piloten

Nieuwe technologie verandert de manier van oorlog voeren, maar de mens blijft onmisbaar. In het COMO-project onderzoekt NLR hoe menselijk gedrag beter inzichtelijk kan worden gemaakt tijdens trainingen van bijvoorbeeld piloten en luchtverkeersleiders. Door factoren zoals stress in simulaties mee te nemen, leren deelnemers tijdens hun training beter omgaan met complexe situaties. Het resultaat: veiligere en effectievere missies.

“In de huidige manier van oorlog voeren, met alle nieuwe technologieën, is het belangrijk om inzicht te krijgen in menselijk gedrag. Daarom besteden we ook in trainingen meer aandacht aan de cognitieve kant”, zegt Emmy Gabriel, R&D engineer training & simulation bij NLR. Het gaat om het trainen van mensen met uiteenlopende beroepen in de luchtvaart, van piloten tot luchtverkeersleiders.

### Stress simuleren

Simulaties spelen een steeds grotere rol in het opleiden van mensen. Die zijn goedkoper en milieuvriendelijker dan echte vluchten. “Om de effectiviteit van trainingen te verhogen, willen we ook de cognitieve kant beter implementeren in de simulatoren”, zegt Gabriel.

In het project Cognitive Effects on Military Operations (COMO) richten de onderzoekers zich vooral op stress. “Wat zijn de factoren die stress beïnvloeden? Hoe kunnen

we stress ook meenemen in de simulaties die tijdens trainingen gebruikt worden? Op die vragen hebben we een antwoord gezocht in literatuuronderzoeken en via experimenten”, zegt Gabriel.

Dat was een uitdaging, want stress laat zich niet makkelijk vangen in algemene waarden. “Hoe stress tot uiting komt, is heel erg afhankelijk van de situatie en van de persoon”, zegt Gabriel. Daarom zijn voor dit project een aantal hoofdpunten vastgesteld die stress beïnvloeden. Het gaat om vermoeidheid, ervaring in het veld en tijdsdruk. “Daarnaast speelt ook een basisniveau aan stress mee: als je al hoog in de stress zit voordat een missie begint, dan kan dat invloed hebben op de afloop”, zegt ze.

### Demonstrator met stressmeter

Op basis daarvan is een demonstrator van een trainingssimulatie gebouwd. Hierin wordt ingezoomd op

*“Piloten met hoge stress worden bijvoorbeeld foutgevoeliger”*

#### PERIODE

2024 - 2025

#### STRATEGISCH THEMA

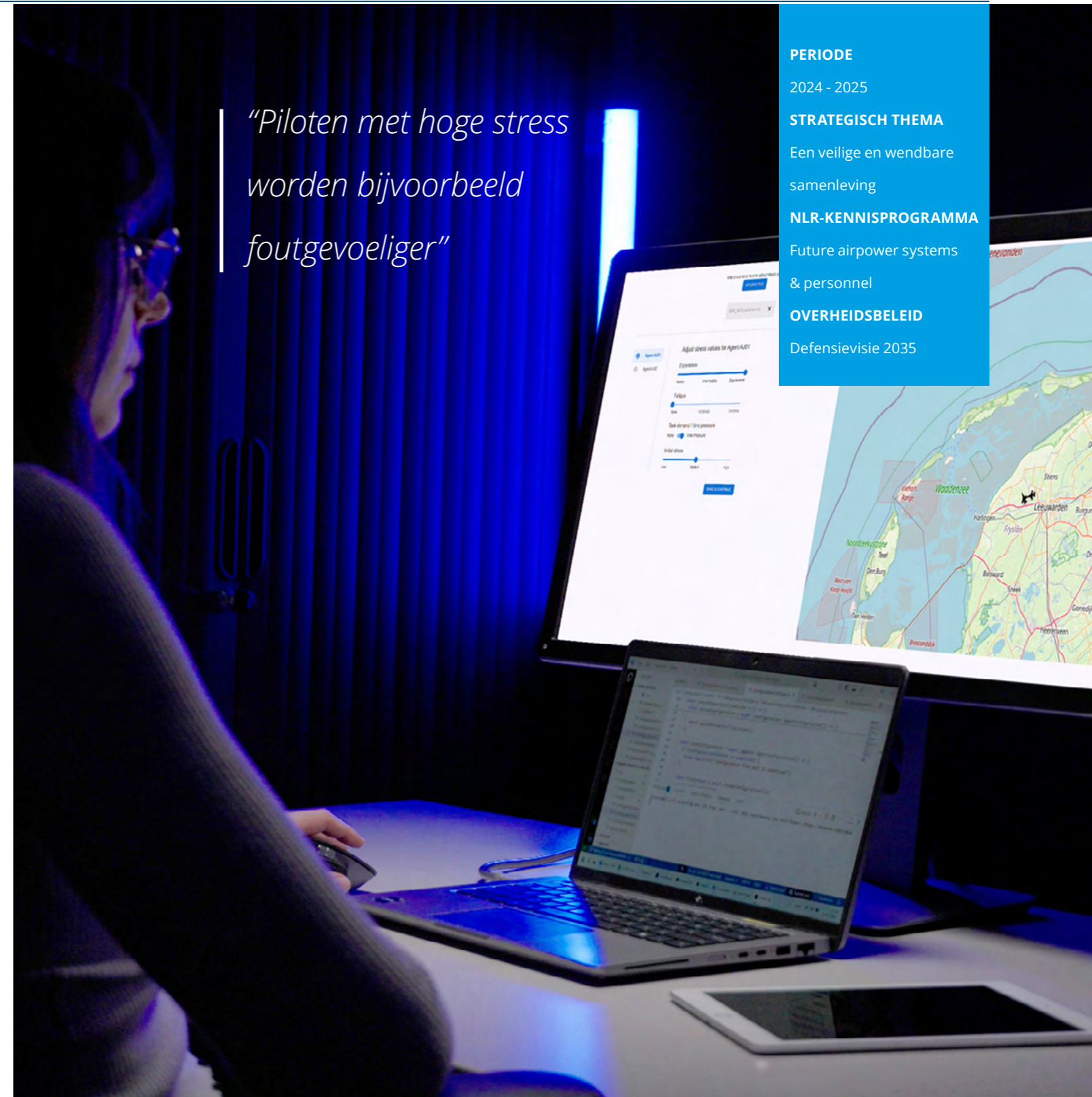
Een veilige en wendbare samenleving

#### NLR-KENNISPROGRAMMA

Future airpower systems & personnel

#### OVERHEIDSBELEID

Defensievisie 2035



een specifieke situatie: het quick reaction alert-scenario. Dit is een bekend scenario binnen Defensie. “Er staan altijd twee gevechtsvliegtuigen paraat voor het geval dat er iets gebeurt. In dit specifieke scenario vliegt er een onbekend toestel het luchtruim in. Dan moeten de gevechtsvliegtuigen gaan kijken wat er aan de hand is”, vertelt ze.

Tijdens de operatie in de demonstrator is het stresslevel van de gesimuleerde piloten te zien op een stressmeter. Voor allebei de gesimuleerde piloten zijn hun ervaring, vermoeidheid en andere variabelen los in te stellen. “De combinatie van factoren bepaalt het stressniveau dat ze tijdens de missie ervaren en het beïnvloedt ook de manier waarop ze op bepaalde (stressvolle) simulaties reageren. Piloten met hoge stress worden bijvoorbeeld foutgevoeliger”, legt Gabriel uit. Uiteindelijk is het doel om met een demonstrator en later in een ‘echte’ simulator meer inzicht te krijgen in de cognitie van gevechtspiloten.

### Informatie verwerken

Daarnaast moeten de militaire piloten, vliegers, en andere betrokkenen ook leren omgaan met de enorme informatiestroom door nieuwe technologie. “Tegenwoordig is een piloot niet alleen bezig met het besturen van het vliegtuig, maar moet die tijdens de vlucht allemaal informatie verwerken, bijvoorbeeld de informatie die drones geven nadat zij een bepaalde plek hebben geïnspecteerd. Op basis hiervan moeten snel

keuzes gemaakt worden. Deze vaardigheden worden een steeds belangrijker aspect binnen de training van een piloot.”

Uiteindelijk zijn er nog veel meer mogelijkheden voor het verbeteren van simulaties. Gabriel: “Door in de simulaties de vijanden een cognitieve dimensie (menselijk gedrag) mee te geven, kunnen we ze een stuk onvoorspelbaarder maken. Want je weet in het echte leven ook niet hoe je vijand geslapen heeft of wat voor stressvolle situaties iemand net heeft meegemaakt. Dat kan de trainingswaarde verhogen.”

### Effectievere missies

Het doel van het project is om te zorgen voor beter getrainde vliegers die goed om kunnen gaan met de technologie en zich bewust zijn van de situatie om hen heen. “Daarmee kunnen we uiteindelijk een betere veiligheid creëren. Het zorgt voor een veiliger optreden in conflicten, effectievere missies en effectievere inzet van middelen”, zegt Gabriel.

In november 2025 heeft NLR een showcase getoond aan stakeholders, zoals het ministerie van Defensie en kennisinstellingen, waarmee het liet zien wat de mogelijkheden zijn. “De kennis is voor hen ook interessant; daarom kijken we nu naar mogelijkheden voor samenwerking voor het vervolg van dit onderzoek”, besluit Gabriel.

## Luchtvaart door de ogen van de samenleving

De luchtvaart verbindt de wereld. Het maakt verre reizen mogelijk en het zorgt voor economische welvaart. Maar er is ook een keerzijde. Vliegtuigen zorgen voor uitstoot van schadelijke stoffen en geluidshinder. In het kennisprogramma Impact op mens en maatschappij onderzoekt NLR de gevolgen van de luchtvaart voor mensen.

“Wat doet de luchtvaarttechnologie met mensen? Hoe beïnvloedt zij hun leven? Die vragen proberen wij in dit programma te beantwoorden”, zegt Rui Roosien, leider van het programma Impact op Mens en Maatschappij. Het gaat met name om de externe factoren van luchtvaart op lokaal niveau, zoals milieueffecten, veiligheid, luchtkwaliteit en geluidshinder. “We kijken waar mensen die op of in de buurt van een luchthaven werken of wonen, tegenaan lopen,”

### Toegankelijk voor iedereen

NLR doet onderzoek in opdracht van de overheid en bedrijven, zoals luchtvaartmaatschappijen, en voert eigen onderzoek uit om kennis op te bouwen. “We vinden dat we daarnaast een maatschappelijke rol dienen te vervullen. Daarom willen we de resultaten van ons onderzoek toegankelijk maken voor iedereen”, zegt Roosien. Hier besteedt hij graag extra tijd en aandacht aan.

### Maatschappelijk debat

Roosien probeert met zijn team te zorgen dat onderzoeksresultaten toegankelijk opgeschreven worden. Ook wil hij bijdragen aan relevante onderwerpen in het publieke en politieke debat, en online beschikbaar zijn voor vragen vanuit de maatschappij. “Ik onderhoud bijvoorbeeld contacten met ministeries, maar ook met actiegroepen. In het begin heb ik veel tijd gestoken in het opbouwen van relaties en inmiddels weten zij ons goed te vinden, bijvoorbeeld voor toelichting bij bepaalde gegevens”, vertelt Roosien.

Via het programma probeert Roosien impact te maken op verschillende aspecten binnen de samenleving. NLR streeft ernaar dat mensen toegang hebben tot waarheidsgetrouwe en genuanceerde informatie over verschillende thema's. “Het is een immateriële impact”, legt hij uit. Het zwaartepunt van het maatschappelijk debat, en daarmee ook de focus van het programma,

**PERIODE**

2022 - 2026

**STRATEGISCH THEMA**Duurzame lucht- en  
ruimtevaart**NLR-KENNISPROGRAMMA**Impact op mens en  
maatschappij**OVERHEIDSBELEID**

Kennisagenda Luchtvaart



*“Wij hebben geen direct belang  
bij een bepaalde uitkomst”*

verschuift regelmatig. “Soms ligt de nadruk meer op het klimaat en op andere momenten is er meer aandacht voor omgevingsfactoren zoals geluid.”

**Van fundamenteel naar praktisch**

NLR doet altijd op onafhankelijke wijze onderzoek, gericht op objectieve resultaten. “Wij hebben geen direct belang bij een bepaalde uitkomst en dat maakt onze positie in de sector uniek”, zegt Roosien. In sommige gevallen gaat het om heel toegepast onderzoek dat snel geïmplementeerd kan worden in de praktijk en op andere momenten gaat het om het opdoen van fundamentele, nieuwe kennis.

“Praktische onderzoeken gaan bijvoorbeeld over geluidsmetingen om te kijken of bepaalde nieuwe vliegtuigen echt stiller zijn, zoals de fabrikant belooft, maar wat door de omgeving in twijfel wordt getrokken. In dit voorbeeld lieten de metingen zien dat de vliegtuigen over de linie inderdaad stiller zijn, maar dat er juist meer geluid was in bepaalde situaties. Daarnaast kunnen bepaalde toonverschillen in geluid als irritant worden gezien. Dergelijke inzichten kunnen een debat veranderen van een welles-nietes-discussie in een dialoog over mogelijke verbeteringen.”

Meer fundamentele kennis wordt onder andere opgedaan in een Europees onderzoeksprogramma. “Daarin hebben we bijvoorbeeld gekeken wat de impact van compleet nieuwe concepten voor vliegtuigen is op

de luchthaven. De implementatie ligt dan nog ver in de toekomst, maar het is wel belangrijk om nu al kennis te vergaren over de nieuwe toestellen en alle processen daar omheen”, zegt Roosien.

**Meer verbondenheid**

Rondom de luchtvaart zijn op dit moment uiteenlopende maatschappelijke uitdagingen, maar de grootste vraag is volgens Roosien: “Hoe houden we verbondenheid in Nederland?” Daarbij gaat het om verbondenheid tussen mensen en daarmee het tegengaan van polarisatie, maar ook om de verbondenheid in letterlijke zin. Met name via Schiphol.

“Je wilt de omgeving beschermen en mensen een prettige woonomgeving bieden. Maar tegelijkertijd wil je ook economisch sterk staan en daarbij is de luchtvaart, met Schiphol als belangrijk knooppunt, van belang. Niet alleen voor de luchtvaartsector zelf, maar ook voor aanverwante sectoren die afhankelijk zijn van internationale samenwerking”, schetst Roosien.

Deze twee aspecten staan vaak tegenover elkaar. “Er wordt nu heel zwart-wit gesproken over meer of minder luchtvaart, maar ik zou willen werken naar een systeem waarin we luchtvaart selectiever inzetten. Hoe we de prioriteiten precies bepalen, is nog een lastig vraagstuk; daar zullen we nog verder naar moeten kijken. Persoonlijk hoop ik in de toekomst weer zonder gêne het vliegtuig in te kunnen stappen.”

# Vliegtuigonderhoud krijgt een digitale upgrade

De digitalisering van onderhoudsprocessen aan vliegtuigen is een belangrijke stap naar een toekomstbestendige luchtvaart. Binnen het NXTGEN HighTech-project ontwikkelden NLR en SPECTO Aerospace een datagedreven aanpak waarbij vliegtuigschade met behulp van beeldherkenning en slimme algoritmen automatisch wordt vastgelegd. Dankzij deze digitale aanpak bespaart de luchtvaart tijd en geld, én worden terugkerende problemen duidelijker zichtbaar.

Hagelbuien, vogelaanvaringen, blikseminslagen, zelfs parkeerongelukjes zijn veelvoorkomende oorzaken van schade aan vliegtuigen. Het huidige inspectieproces voor schade is handmatig en arbeidsintensief. Een expert inspecteert het oppervlak en omcirkelt beschadigingen met een stift of plaatst markers. Vervolgens bepaalt de specialist het reparatieplan en zegt op basis hiervan een begroting op met de beoogde reparatiekosten.

Binnen NXTGEN HighTech hebben experts gezocht naar een manier om dit proces te digitaliseren in een 3D-omgeving. NLR werkte binnen het project samen met SPECTO Aerospace: een hoogtechnisch, gespecialiseerd reparatiebedrijf. In hun werkplaatsen op Lelystad Airport en Woensdrecht Airbase repareert het bedrijf vliegtuig- en helikopteronderdelen, variërend van neuskegels van privévluchtduigen tot omvangrijke stuurvlakken van grote verkeersvliegtuigen. "Wij hebben

SPECTO geholpen met het uitzoeken van verschillende technieken voor het efficiënt en effectief digitaliseren van zijn reparatieprocessen, passend bij hun zelfontwikkelde systemen", zegt Julian de Marchi, projectleider en hightech product developer bij NLR.

## De impact van een digitaliseringslag

De digitalisering van onderhoud gaat verder dan tijdswinst: reparaties worden niet langer vergeten in archieven. Door schade digitaal vast te leggen, worden terugkerende patronen duidelijker zichtbaar dan voorheen het geval was. "Blijkt een specifiek vliegtuigtype vaak schade te hebben? Of veroorzaakt vliegen in woestijngebieden specifieke slijtage? Op die vragen kunnen we met nieuwe technologieën beter antwoord geven. Dergelijke inzichten zijn waardevol voor vliegtuigbouwers en SPECTO speelt hier met zijn aanpak een actieve rol in."

### PERIODE

2022 - 2025

### PROJECTPARTNERS

SPECTO Aerospace

### STRATEGISCH THEMA

Een veilige en wendbare samenleving

### NLR-KENNISPROGRAMMA

Future airpower systems

& personnel

### OVERHEIDSBELEID

Kennisagenda Luchtvaart

Het project biedt ook een oplossing voor de krappe arbeidsmarkt. Waar vroeger jarenlange ervaring nodig was om schade juist te beoordelen, kan een junior medewerker nu met digitale tools de inspectie uitvoeren. Een expert hoeft dan alleen nog de resultaten te controleren.

*Camera's brengen de schade aan een vliegtuigonderdeel in beeld*

## Camera's en slimme algoritmes

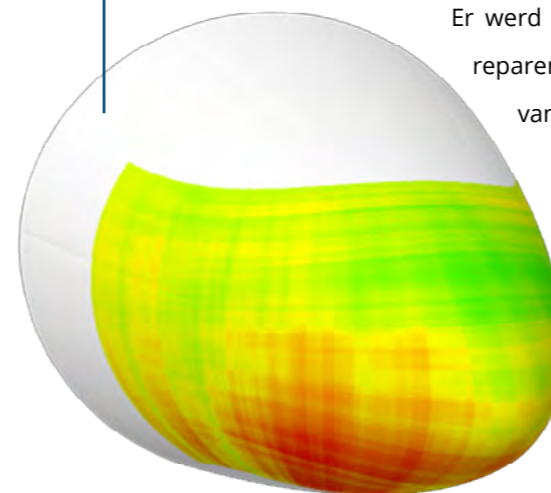
Binnen het project zijn meerdere conceptideeën uitgewerkt en onderzocht. Zo werd gekeken naar automatische schadeherkenning en hoe dit zou kunnen werken voor klanten van SPECTO. De Marchi legt uit: "Camera's brengen de schade aan een vliegtuigonderdeel in beeld. Slimme algoritmen analyseren de beelden en bepalen automatisch de schadeomvang, altijd met validatie door een specialist. Vervolgens wordt alle informatie overzichtelijk weergegeven in een webportaal, waar de klant per uitbesteed vliegtuigonderdeel de gegevens kan bekijken. Denk aan koppelingen met onderhoudsdata, materiaalverbruik, gebruikte tooling en/of manuren. Los daarvan is ook het reparatieproces zelf beter te volgen."

Er werd daarnaast onderzocht of je met een standaard smartphone rond een te repareren vliegtuigonderdeel kunt lopen en automatisch een 3D-model kunt maken van de schade, met voldoende nauwkeurigheid. "We hebben dit getest en met een werkende demonstrator laten zien dat het daadwerkelijk mogelijk is."

## Toekomstplannen

Het project is inmiddels afgerond. De Marchi is tevreden met het eindresultaat. "De technische haalbaarheid van deze toepassingen is aangetoond. SPECTO is inmiddels gestart met het integreren van de nieuwe technieken en methodieken in zijn reparatieprocessen."

3D-animatie met schadebeeld van een neuskegel van een vliegtuig.



**PERIODE**

2024 - 2026

**PROJECTPARTNER**

MTU (project lead), MT aerospace, Collins, Nord-Micro, EATON, Lufthansa Technik, TU Wien, University of Naples

**STRATEGISCH THEMA**

Duurzame lucht- en ruimtevaart

**NLR-KENNISPROGRAMMA**

Klimaatneutrale luchtvaart

**OVERHEIDSBELEID**

IKIA Klimaat en Energie

## Emissievrij vliegen met vloeibare waterstof

Om emissievrij te vliegen ontwikkelt NLR een waterstof-elektrisch voortstuwings-systeem voor een vliegtuig. Het systeem bestaat uit een waterstoftank in de staart van het toestel, brandstofcellen die 1,2 megawatt aan elektrisch vermogen genereren, een koeling onder de vleugels met vier warmtewisselaars en een nieuw ontworpen propeller. Daarnaast brengt het project de klimaat- en omgevings-effecten van op waterstof vliegende toestellen in kaart.

NLR werkt binnen het Europees gesubsidieerde onderzoeksproject HEROPS – dat staat voor Hydrogen-Electric Zero Emission Propulsion System – aan nagenoeg emissievrij vliegen met waterstof. Daarbij ontwikkelen NLR en partners de onderdelen van het gehele aandrijfsysteem: van de tank tot aan de propeller. Alle afzonderlijke onderdelen zijn ontworpen en worden in 2026 getest. De resultaten vormen de basis voor een testvlucht in een volgend project.

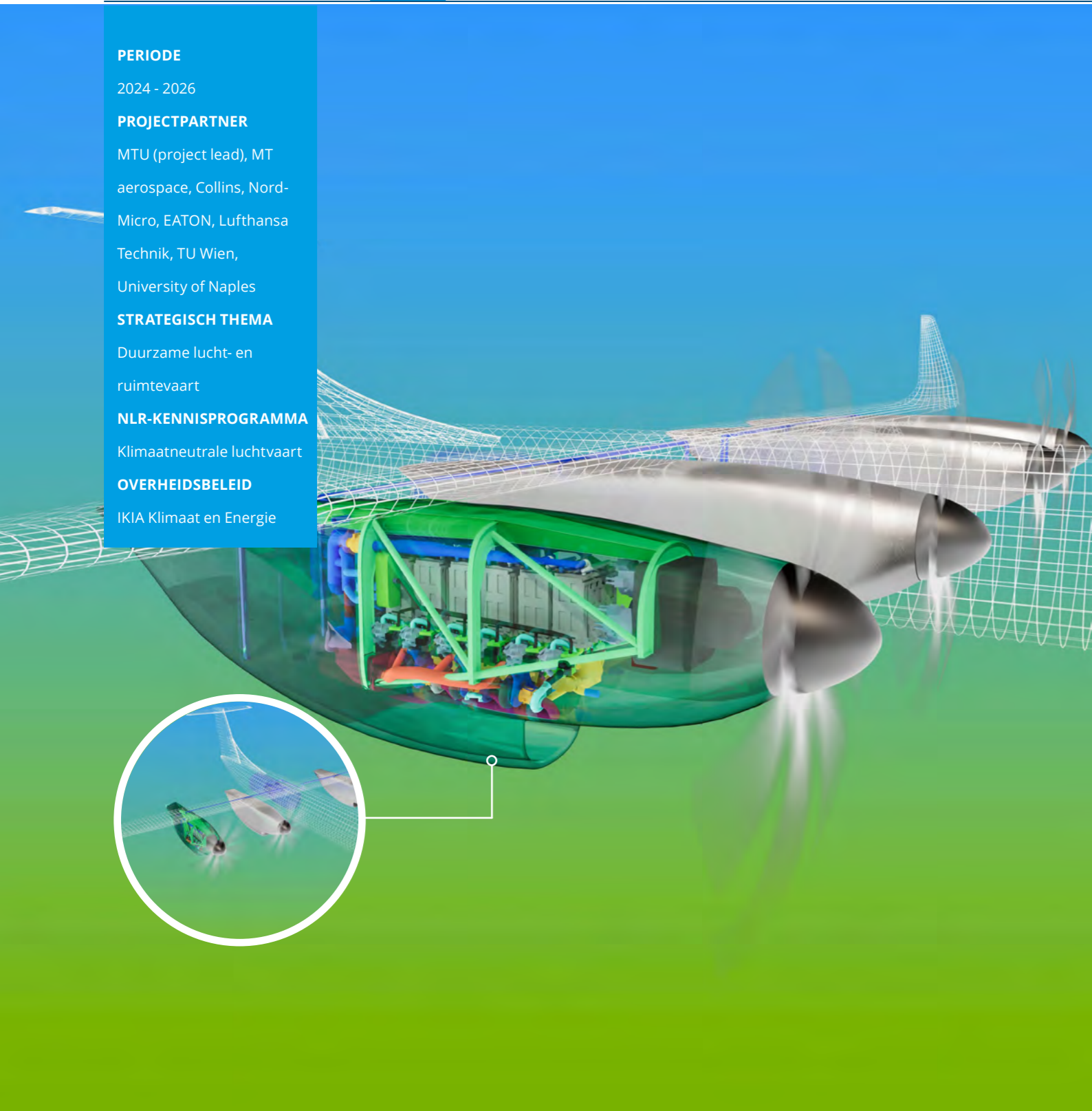
### Volledig groen

“Er zijn twee manieren om een vliegtuig op waterstof te laten vliegen”, zegt Thomas Dumoulin, R&D engineer en projectmanager voor NLR binnen HEROPS. “De ene manier is om gasvormig waterstof te verbranden in een gasturbine.” Dat is te vergelijken met het verbranden van kerosine in een vliegtuigmotor. Het voordeel daarvan is dat er weinig aan het huidige voortstuwingsysteem van het vliegtuig hoeft te worden aangepast. “Het nadeel is dat bij het verbranden van waterstof stikstofoxiden ontstaan.”

De andere manier draait om een chemisch proces waarbij een brandstofcel waterstof combineert met de zuurstof uit de lucht en dat omzet in elektriciteit. Die elektriciteit stuurt een elektromotor aan waar een propeller voor zit. Bij dit proces komt alleen waterdamp vrij, waardoor de aandrijving bijna klimaatneutraal is, zegt Dumoulin. “Op grote hoogte heeft waterdamp een broeikas effect. Het effect op het klimaat is wel vele malen kleiner dan dat van de stikstofoxiden die vrijkomen bij het verbranden van waterstof.”

### Tank in de staart

“De uitdaging is om ervoor te zorgen dat de temperatuur van de waterstof laag blijft: -253 graden Celsius, zo’n 20 graden boven het absolute nulpunt.” Voor de opslag van de vloeibare waterstof is daarom een vacuümgeïsoleerde tank ontwikkeld. Dat is een dubbelwandige tank waarin de lucht tussen de buiten- en de binnentank volledig is weggezogen. Dat maakt dat er bijna geen warmteoverdracht plaatsvindt, aldus Dumoulin.



Omdat waterstof voor dezelfde hoeveelheid energie veel meer volume heeft dan kerosine, vormde de locatie van de tank een cruciaal onderdeel van het onderzoek. In de vleugel – waar de huidige kerosinetank zit – was geen optie, zegt Dumoulin. “Het lijkt tot nu toe de beste optie om te kiezen voor een cilindrische tank in de staart van het vliegtuig.”

### Druppelsysteem

Volgens Dumoulin was de grootste uitdaging de warmtewisselaar. “We genereren 1,2 megawatt aan elektriciteit. Daar komt enorm veel hitte bij vrij die we moeten afvoeren.” De meeste hitte ontstaat bij het opstijgen. “Op de grond is de lucht warm en gaat het vliegtuig vol gas. Omdat het vliegtuig nog geen vaart maakt, is er ook nog geen instromende lucht die de motor kan koelen. Opstijgen is daarom de meest kritische fase voor het koelsysteem. Eenmaal boven kan het gas eraf, komt er minder hitte vrij en is er volop stromende koude lucht, wat het koelproces makkelijker maakt.” Maar een vliegtuig moet overal ter wereld kunnen opstijgen, zegt Dumoulin, “zelfs in de Sahara”.

NLR ontwikkelde daarom een druppelsysteem voor in de warmtewisselaar. “Dit systeem vernevelt een kleine hoeveelheid water in de inlaatlucht van de warmtewisselaar. De lucht koelt hierdoor af zodat de koelcapaciteit van de warmtewisselaar wordt vergroot.”

### Multidisciplinair

Daarnaast kijkt Dumoulin's team naar de klimaat- en omgevingseffecten van op waterstof vliegende toestellen. “De propellers zorgen voor een ander soort geluid, dus we gaan geluidstesten doen.” Ook het onderhoud is nog onderwerp van onderzoek, zegt Dumoulin. “Hoe lang gaat het mee? Wat zijn de kosten op de lange termijn?” Een ander belangrijk onderdeel vormt de certificering van het systeem. “De huidige eisen die de autoriteiten aan vliegtuigen stellen, zijn gebaseerd op vliegen op kerosine. Wij onderzoeken welke specificaties toegevoegd moeten worden.”

Omdat het gaat om het gehele brandstofsysteem, is het nodig om alle onderdelen goed met elkaar af te stemmen, wat het een veelzijdig project maakt. Dat multidisciplinaire karakter maakt het project voor Dumoulin extra bijzonder. “We zitten echt op de innovatiekant van vliegen op vloeibare waterstof, het gebeurt nog niet. We moeten met veel verschillende disciplines samenwerken om dit te realiseren.”

*“Alles moet ervoor zorgen dat de waterstof -253 graden Celsius blijft”*



#### PERIODE

2025

#### STRATEGISCH THEMA

Duurzame lucht- en ruimtevaart

#### NLR-KENNISPROGRAMMA

Klimaatneutrale luchtvaart

#### OVERHEIDSBELEID

IKIA Klimaat en Energie, Kennisagenda Luchtvaart

## Slim SAF-gebruik voor minder opwarming

In 2030 moet zes procent van alle vliegtuigbrandstof in Europa duurzaam zijn. Hoe zorgen we ervoor dat een beperkte hoeveelheid duurzame brandstof de maximale klimaatwinst oplevert? Binnen het project SIONIE onderzocht NLR hoe SAF strategisch kan worden ingezet, bijvoorbeeld bij vluchten waar meer contrails worden gevormd. Het project slaat een brug tussen klimaatmodellering en dagelijkse operatie.

Sustainable Aviation Fuel (SAF) is een hernieuwbaar alternatief voor fossiele kerosine, gemaakt uit grondstoffen zoals gebruikt frituurvet, afval en biomassa. SAF verlaagt de klimaatimpact van vliegen op meerdere manieren. David Engler Faleiros, R&D engineer bij NLR: "Het gebruik van duurzame brandstof reduceert CO<sub>2</sub> in de hele productieketen en verkleint bovendien het klimaateffect van contrails, condensatiestrepen in de lucht, waardoor de opwarming van de atmosfeer afneemt."

### Een blik op 2030

In 2030 moet zes procent van alle brandstof van vluchten vanuit landen van de Europese Unie duurzaam zijn. Dat betekent dat zes procent SAF wordt bijgemengd met kerosine. Het percentage loopt op tot 70% in 2050. Die Europese verplichting roept een belangrijke vraag op: waar levert die beperkte hoeveelheid SAF de grootste klimaatwinst op?

Binnen het project SIONIE, dat deel uitmaakte van het NLR-programma Klimaatneutrale luchtvaart (KLV), onderzocht NLR hoe SAF het best kan worden ingezet om in 2030 de grootste klimaatwinst te behalen, vertelt Faleiros. "Het klimaateffect van contrails is bijvoorbeeld niet overal hetzelfde: bij sommige vluchten, zoals nachtvluchten, kan het effect groter zijn dan bij andere."

### Een klimaatmodel van NLR

De onderzoekers gebruikten bestaande gegevens van eerdere grond- en vluchtmetingen. Denk bijvoorbeeld aan gegevens over roetdeeltjes die invloed hebben op ijskristallenvorming in contrails. Ze maakten correlaties tussen SAF-gebruik, roetdeeltjes en ijskristallen, die ze vervolgens invoerden in een model van NLR. Zo konden ze het klimaateffect van SAF duidelijk bepalen.

### SAF toewijzen aan specifieke vluchten

In theorie kun je SAF toewijzen aan specifieke vluchten die de meeste opwarming veroorzaken. Maar op luchthavens wordt alle brandstof gemengd in grote opslagtanks. "Het zou dus vrij moeilijk zijn voor een luchthaven of luchtvaartmaatschappij om er voor te zorgen dat vlucht A 10 procent SAF krijgt terwijl vlucht B 5 procent krijgt", legt Faleiros uit. Het project keek daarom naar bredere patronen in het vliegverkeer, zoals het prioriteren van wintervluchten, omdat die vaker opwarmende contrails veroorzaken. Of: SAF inzetten op specifieke luchthavens of routes.

Deze strategieën leiden tot minder voordelen voor de klimaatimpact dan de focus op specifieke vluchten, maar verminderen toch de totale klimaatimpact. Faleiros: "Veel strategieën die we onderzochten leveren één tot

*"Het project slaat een brug tussen klimaatmodellering en dagelijkse operatie"*

twee procent reductie op. Dat klinkt als weinig, maar in de luchtvaartsector is dat significant." Een voordeel is bovendien dat deze inzichten direct toepasbaar zijn binnen de huidige infrastructuur en hierdoor meteen inzetbaar zijn. "Het project slaat een brug tussen klimaatmodellering en dagelijkse operatie", aldus Faleiros.

### Uitgangspunt voor beleidsmakers

Het onderzoek kan volgens Faleiros een waardevol uitgangspunt zijn voor beleidsmakers. "Het laat zien welke strategieën operationeel haalbaar zijn. Die kennis kan in de toekomst bijdragen aan een effectiever beleidsontwerp, zodat de luchtvaartsector stap voor stap duurzamer wordt."



### TESTIMONIAL UIT STARTUP-PROGRAMMA

Eddytec is een innovatieve startup die het vaak tijdrovende, complexe en kostbare testproces van koolstofcomposieten aanpakt. Het bedrijf gebruikt zijn technologie om dit proces sneller, efficiënter en beter geïntegreerd te maken. De startup zet belangrijke stappen richting technische validatie en markttoepassing met steun van NLR.

*"NLR voorzag ons van waardevolle expertise op het gebied van testprocessen, documentatie en certificering. Deze kennis is voor ons essentieel om te begrijpen hoe de sector werkt en wat er nodig is om uiteindelijk certificering te behalen", aldus dr. Alina Chanaewa, CEO en oprichter van Eddytec.*

**PERIODE**

2023 - 2025

**PROJECTPARTNER**

SEO Amsterdam Economics

**STRATEGISCH THEMA**Concurrerend vermogen  
van de lucht- en ruimtevaart**NLR-KENNISPROGRAMMA**

Klimaatneutrale luchtvaart

**OVERHEIDSBELEID**

Kennissagenda Luchtvaart

## CO<sub>2</sub>-neutraal vliegen: SAF blijkt onmisbaar

CO<sub>2</sub>-neutraal vliegen in 2050: hoe krijgen we dat voor elkaar? NLR heeft voor de Europese luchtvaartsector een roadmap ontwikkeld om daar stap voor stap naar toe te werken. Duurzame brandstof blijkt van cruciaal belang om te vliegen met minder CO<sub>2</sub>-uitstoot. De belangrijkste boodschap uit het rapport: we hebben geen tijd te verliezen.

“We schetsen een pad om tot CO<sub>2</sub>-neutrale luchtvaart in 2050 te komen. Het is een strategie voor de sector om zich aan vast te houden, onderbouwd met cijfers en analyses”, zegt Elisabeth van der Sman, consultant en teamleider duurzame luchtvaart bij NLR. De Europese brancheorganisaties in de luchtvaart, waaronder die van de luchthavens, luchtvaartmaatschappijen, de maakindustrie en de luchtverkeersleiders, klopten gezamenlijk aan bij NLR en SEO Amsterdam Economics om de roadmap op te laten stellen. “Wij werken onafhankelijk en op basis van wetenschappelijke kennis, zo geven we een objectief beeld. Met de roadmap kan elke partij op zijn eigen manier verder aan de slag.”

### Nieuwe vliegtuigen

De roadmap, genaamd Destination 2050, bevat concrete maatregelen die genomen moeten worden om over 25 jaar CO<sub>2</sub>-neutraal te vliegen. In het rapport komen drie technologische pijlers aan bod. De eerste pijler is de technologie in vliegtuigen en motoren. NLR heeft gekeken welke vliegtuigen op korte termijn kunnen

worden vervangen en welke nieuwe toestellen er op de lange termijn worden verwacht. Naar verwachting komen vanaf 2035 nieuwe, zuinigere vliegtuigen op de markt.

### Efficiënte operatie en duurzame brandstof

In de tweede pijler staan air traffic management en operatie centraal. “Hierin is vooral gekeken naar de CO<sub>2</sub>-reductie door efficiëntie in het luchtruim, bijvoorbeeld door vliegroutes aan te passen”, legt Van der Sman uit. De laatste pijler is alternatieve brandstoffen. Hierin komt het gebruik van duurzame brandstoffen, zoals sustainable aviation fuel (SAF), aan bod en wordt ook gekeken naar waterstof als energiedrager in de luchtvaart.

“SAF is een van de veelbelovende oplossingen op dit moment. Maar er is nog veel ontwikkeling nodig om dit op grote schaal in te zetten.” Op dit moment zijn er bijvoorbeeld nog maar een paar fabrieken die SAF produceren, legt Van der Sman uit. “Het gaat dan vaak om een productieproces waarbij kerosine wordt gemaakt

*“Met deze roadmap laat de Europese luchtvaartsector zien dat men vooruit wil en hiermee kan Europa zich houden aan de afspraken in het Parijsakkoord”*

van oud frituurvet of andere reststromen. Die zijn natuurlijk maar beperkt beschikbaar. Daarom moeten we ook kijken naar andere vormen van duurzame brandstoffen.”

Het ReFuelEU Aviation-mandaat voor het gebruik van duurzame brandstoffen is volgens Van der Sman een belangrijke manier om de doelen te halen. Er is nu vastgesteld dat in 2050 70% van de vliegtuigbrandstof SAF moet zijn. Hier moet nog 10% bovenop om de doelen van Destination 2050 te halen. “Als het gebruik van de brandstoffen toeneemt, dan moet ook de productiecapaciteit omhoog. Om uiteindelijk op grote schaal duurzame brandstof, waaronder synthetische vliegtuigbrandstof, te maken, is veel duurzame elektriciteit nodig. Daarvoor moet de luchtvaartsector samenwerken met de energiesector.”

### Economische aspecten

Naast de technologie komt in de roadmap ook de economische kant aan bod. Hiervoor heeft NLR samengewerkt met onderzoeksbureau SEO. “Zij hebben een model gemaakt waarin ze kunnen laten zien wat de gekozen maatregelen opleveren, maar ook wat ze kosten.” Van der Sman noemt het gebruik van duurzame brandstoffen als voorbeeld: “De duurzame brandstof blijft naar verwachting duurder dan bestaande fossiele kerosine en daardoor zal de prijs van een vlucht toenemen.”

### ‘Nu of nooit’

Dit plan is in lijn met een CO<sub>2</sub>-budget van 1,7 graden opwarming van de aarde en sluit daarmee aan bij de doelstelling uit het Parijsakkoord om ruim onder de 2 graden te blijven. “Maar dan moet wel snel actie worden ondernomen”, zegt Van der Sman. “Het is nu of nooit. Als we nog een paar jaar geen vooruitgang boeken, dan hebben we in de tussentijd al zoveel uitgestoten dat het heel moeilijk is om binnen het CO<sub>2</sub>-budget te blijven en de doelen alsnog te bereiken.”

In 2025 is de roadmap afgerond en gepubliceerd. Deze versie is een update van een eerdere roadmap, verschenen in 2021. “De ontwikkelingen gaan snel, daarom hebben we het eerdere plan herzien om te kijken wat er nog haalbaar is”, zegt Van der Sman. Hierbij gaat het om de technische haalbaarheid van innovaties, maar ook om de externe omstandigheden zoals veranderend beleid.

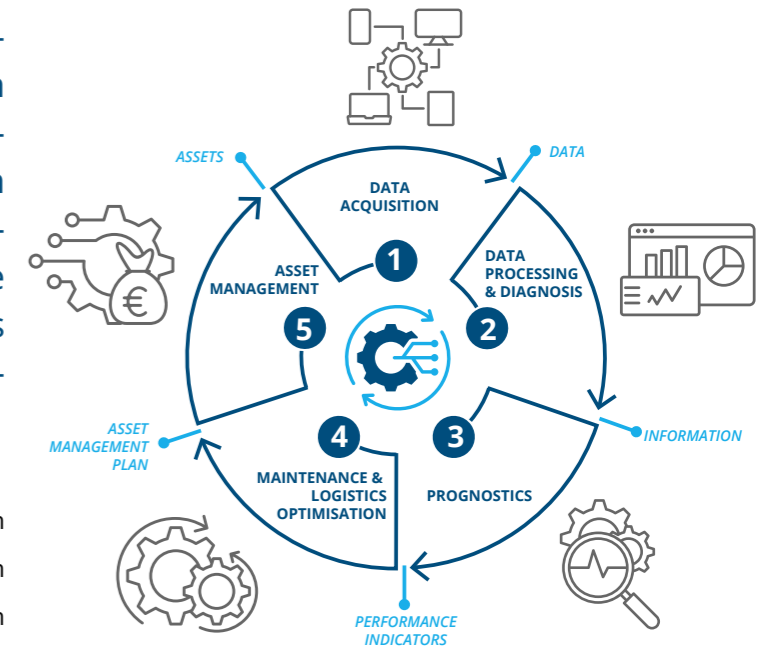
De grootste verandering? “Waterstof heeft een kleiner aandeel gekregen in de verduurzaming van de luchtvaart. De ontwikkelingen gaan minder snel dan we in de eerste versie van de roadmap hadden verwacht.” Dat betekent dat SAF een belangrijkere pijler is geworden, benadrukt ze. Daarnaast worden in het nieuwe rapport ook strategieën beschreven voor de aanpak van niet-CO<sub>2</sub>-effecten van de luchtvaart, zoals condensatiestrepen in de lucht (contrails) en stikstofoxiden.

## Vliegtuigonderhoud op het juiste moment

Hoe weet je precies wanneer een vliegtuig onderhoud nodig heeft? Binnen het NWO-project PrimaVera werkte NLR samen met universiteiten en bedrijven aan voorspellend onderhoud. Met sensoren en data-analyse kan schade aan vliegtuigconstructies beter worden voorspeld, wat bovendien kosten bespaart.

Nu plannen bedrijven onderhoud nog volgens een vast schema. NLR-projectleider Frank Grooteman van het PrimaVera-project: “In de luchtvaart wordt een onderdeel van een vliegtuig bijvoorbeeld na elke 500 vlieguren geïnspecteerd.” Met sensoren en modellen kan echter beter worden voorspeld hoe schade zich ontwikkelt en hoe lang de levensduur van een constructie nog is. “Met slim gebruik van technologie kun je onderhoud uitvoeren precies wanneer het nodig is.” Vliegtuigen staan hierdoor minder lang aan de grond. Tegelijkertijd worden kosten gereduceerd.

Binnen PrimaVera werkten verschillende promovendi van de Radboud Universiteit, de Technische Universiteit Eindhoven en de Universiteit Twente aan het ontwikkelen van algoritmes voor voorspellend onderhoud (predictive maintenance). NLR hielp om deze technologie verder



te ontwikkelen en klaar te maken voor gebruik in de praktijk.

### Levensduur en impactschade

Aan de hand van sensoren die belastingswisselingen meten, gecombineerd met data-analyse, kunnen een aantal dingen worden berekend. Ten eerste: hoeveel van de levensduur een onderdeel al heeft ‘verbruikt’, wat vooral relevant is voor metalen onderdelen. Daarnaast kunnen deze sensoren ook schade door impact detecteren, bijvoorbeeld door een hagelbui of een aanrijding met een bagagekar. Grooteman legt uit: “Uit

**PERIODE**

2020 - 2025

**PROJECTPARTNERS**zie: [primavera-project.com/  
project-partners](http://primavera-project.com/project-partners)**STRATEGISCH THEMA**Concurrerend vermogen van  
de lucht- en ruimtevaart**NLR-KENNISPROGRAMMA**Operationele  
beschikbaarheid van  
materieel**OVERHEIDSBELEID**

Kennisagenda Luchtvaart



het signaal afkomstig van de sensoren kunnen we bepalen waar de impact plaatsvond en hoe groot de impactenergie was. Dat is belangrijk, want vliegtuigstructuren blijven tot een bepaalde energie schadevrij. Bij een hogere impact weten we dat een inspectie nodig is en waar die moet worden uitgevoerd." Veel nieuwe vliegtuigen bestaan grotendeels uit composietmaterialen. Die zijn licht en sterk, maar ook gevoelig voor impact. Het lastige is dat schade aan dergelijke materialen soms nauwelijks zichtbaar is. "Sommige beschadigingen zie je nauwelijks met het blote oog aan de buitenkant," zegt Grooteman. "Maar wij kunnen ze door middel van sensoren opsporen."

### Experimenteren met materialen

Binnen het project voerde NLR samen met de Universiteit Twente diverse testen uit op composietonderdelen. Hiervoor werden meerdere experimenten uitgevoerd: materialen kregen sensoren en werden blootgesteld aan gecontroleerde impacts. Met de verzamelde data werd vervolgens een model ontwikkeld voor het voorspellen van de impactenergie.

### Een toolbox voor bedrijven

Daarnaast werd er een platform ontwikkeld waarop de bedrijven die bij het project waren aangesloten hun eigen onderhoudstools kunnen gaan bouwen. Hierin zitten ook de algoritmen ontwikkeld door de promovendi. "Zie het als een set bouwstenen: bedrijven kunnen er hun eigen systemen mee samenstellen", aldus Grooteman.

### Verzamelen van data is uitdagend

Een van de grootste uitdagingen bij voorspellend onderhoud is het verzamelen van de benodigde data. Gegevens zijn vaak verspreid over verschillende partijen: de fabrikant (OEM) wil ze graag volledig in handen hebben, terwijl operators soms niet alles kunnen of mogen delen. Het gaat om diverse soorten data: ontwerpgegevens, testdata van de originele onderdelen, operationele data én reparatiegeschiedenis. Voor een betrouwbare voorspelling moeten al deze databronnen samenkomen. Het samenbrengen van al deze informatie vormt dan ook het grootste knelpunt bij het praktisch toepassen van voorspellend onderhoud.

Binnen het project PrimaVera zijn de eerste stappen gezet en is waardevolle data verzameld. Volgens Grooteman zal het echter nog enkele jaren duren voordat zulke systemen op grote schaal worden toegepast, omdat er nog meer gegevens nodig zijn. "Bedrijven moeten er nu mee aan de slag. Maar als uiteindelijk alle data samenkomen, wordt het onderhoudsproces een stuk efficiënter."



INTERVIEW UIT NLR PEOPLE

### Innovatieve antennes voor een veilige en duurzamere luchtvaart

*Als tiener bezoekt Jaco Verpoorte de elektronikawinkel waar zijn moeder werkt geregeld. Hier ziet hij voor het eerst een zendamateur die met zijn apparatuur over lange afstanden kan communiceren, zonder dat er draden nodig zijn. "Het waren de jaren zeventig. Internet bestond nog niet, draadloze communicatie stond in de kinderschoenen. Ik vond het geweldig."*

*De interesse beklijft. Hij maakt radio vanuit zijn zolderkamer en schrijft zich in voor de opleiding Elektrotechniek, met een specialisatie in telecommunicatie en EMC (elektromagnetische compatibiliteit) aan de Technische Universiteit Eindhoven. Zijn afstudeerstage loopt Jaco bij Fokker Aircraft, waar hij ontdekt dat zijn interesse voor elektromagnetische golven en luchtvaart een heel interessante combinatie zijn.*

*Vroeger mixte hij zelf muziek en stuurde dat de ether in, inmiddels geeft hij als principal engineer leiding aan de groep elektromagnetische technologie bij NLR.*

# Open-source AI-modellen verbeteren de veiligheid in de lucht

AI-modellen kunnen de luchtvaart veiliger maken met snelle en nauwkeurige incidentanalyses en door het trainen van luchtverkeersleiders. R&D engineers van NLR onderzochten samen met de LVNL en studenten van de TU Delft hoe open-source AI-modellen getraind kunnen worden voor luchtverkeerscommunicatie. Daarbij keken ze hoe dit snel en laagdrempelig kan met een minimale hoeveelheid data.

“Wij wilden onderzoeken of we met zo min mogelijk data een open-sourcemodel geschikt konden maken voor luchtverkeerscommunicatie”, zegt Vincent de Vries, R&D engineer flight operations bij NLR. “Het genereren van data is arbeidsintensief. Dat maakt het ontwikkelen van een model duur. Wij dachten: wat als we er een open-source AI-model voor kunnen gebruiken? Wat als we zo’n model kunnen trainen in de specifieke manier van communiceren binnen deze nichemarkt?”

## Specifieke communicatie

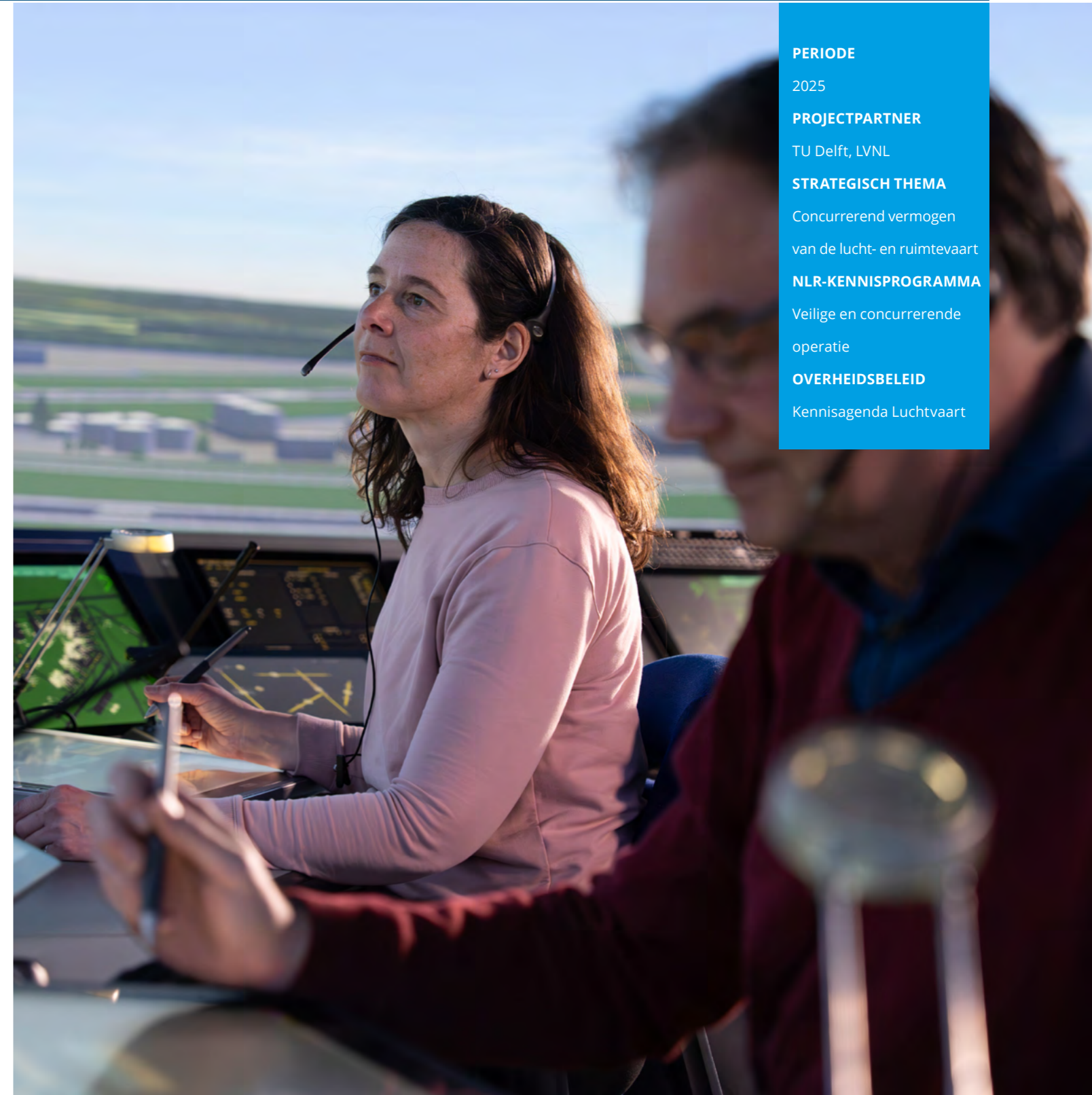
Een blog over een nieuw open-source spraakmodel dat getraind was met duizenden uren aan openbare data, zette De Vries en zijn collega’s aan het denken. Zou dat model ook werken bij communicatie die zó precies moet zijn als die tussen de luchtverkeersleiding en een piloot? “De luchtverkeerscommunicatie bevat hele typische woorden en afkortingen, ook de zinsopbouw is anders.

Open modellen zijn goed voor normaal spraakgebruik, maar zodra het technischer wordt, is de foutkans groter.”

## Incidentanalyses

Met spraakopnames die de Luchtverkeersleiding Nederland (LVNL) beschikbaar stelde, werd het open-source model extra getraind - onder meer om incidenten sneller en nauwkeuriger te analyseren. Als er een incident in het luchtruim is geweest, volgt er altijd een rapport, legt De Vries uit. Daarbij wordt de spraak handmatig omgezet naar tekst. Dat omzetten is een vrij specialistisch en tijdrovend proces. “Als dit geautomatiseerd kan, dan is dat de eerste efficiëntieslag.”

Door spraakberichten automatisch om te zetten naar tekst ontstaat er ook een grotere hoeveelheid data waarmee de al bestaande veiligheidsindicatoren kunnen worden verfijnd. “Dankzij meer informatie over wat



## PERIODE

2025

## PROJECTPARTNER

TU Delft, LVNL

## STRATEGISCH THEMA

Concurrerend vermogen van de lucht- en ruimtevaart

## NLR-KENNISPROGRAMMA

Veilige en concurrerende operatie

## OVERHEIDSBELEID

Kennisagenda Luchtvaart

er wanneer gezegd is en door wie, kunnen incidenten nauwkeuriger geduid worden. Het systeem kan dan op incidentelementen door de tekst gaan en eruit halen wat belangrijk is. Een vervolgtoeepassing kan zijn dat een tweede algoritme automatisch gevaren gaat herkennen. Dit algoritme kan in de toekomst voorspellend werken, maar het is ook vooral reactief om bijvoorbeeld elkaar tegensprekende verklaringen te analyseren en te herkennen tijdens de operatie.”

### Trainingen

Een andere toepassing: het gebruiken van de informatie uit spraakberichten om luchtverkeersleiders te trainen. Tijdens zo'n training worden verschillende scenario's gesimuleerd en praat de luchtverkeersleider met een pseudo-piloot - iemand die aan de andere kant van de lijn zit en simuleert te vliegen.

“Het is lastig deze pseudo-piloten te vinden voor deze trainingen. Ze hebben vaak ook een baan als piloot en maken echte vliegers. Dankzij het succesvol toepassen van dit soort technieken kunnen pseudo-piloten in de toekomst wellicht efficiënter gaan werken. Doordat alle gesproken communicatie van de verkeersleider direct omgezet wordt naar tekst, kan een algoritme dat interpreteren. Een ander algoritme zet bijvoorbeeld vervolgens de benodigde acties in het simulatievliegtuig

op het radarscherm van de pseudo-piloot. De pseudo-piloot kan zo vlotter werken, waardoor er minder pseudo-piloten nodig zijn.”

De studenten van de TU Delft leverden een belangrijke bijdrage aan het finetunen van het model. Zij deden veel uitvoerend werk, zoals het verzamelen van data, maar ook het finetunen en het uitproberen van de verschillende modellen.

### Feilloos

De Vries vond het verrassend hoe goed het model de specifieke afkortingen binnen de luchtvaart herkende en correct toepaste in de tekst. Zo vertaalde het model feilloos het NAVO-alfabet, met de A van Alpha en de B van Bravo. Ook de namen van vliegtuigen en de aanduidingen van start- en landingsbanen werden correct geschreven. “Het is mooi om te zien dat zelfs kennis van een nichetoeepassing als de luchtvaart al in zo'n model gebakken zit.”

### Aan boord

Het project kreeg veel positieve reacties tijdens de innovatiedag van het NLR-kennisprogramma Veilige en Concurrerende Operaties (VCO) in oktober 2025. Stakeholders vanuit onder meer het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en LVNL dachten mee en kwamen met out of the box-toepassingen binnen de eigen

organisatie, zegt De Vries. “Binnen NLR onderzoeken en gebruiken we overigens dit soort spraak-naar-tekst-modellen ook op andere gebieden, zoals voor militaire toepassingen binnen het project Sentinel.”

Wat er de komende tijd op planning staat? “We willen verder onderzoeken en testen om te bepalen hoe een dergelijk model waardevol kan zijn aan boord van ons onderzoeksvliegtuig. Met deze techniek kunnen we ook de piloten en het technisch personeel dat meevliegt ondersteunen.”

“De pseudo-piloot kan zo vlotter werken, waardoor er minder nodig zijn”



### Verbeteren van de vliegveiligheid

*NLR draagt bij aan de verbetering van de vliegveiligheid. Het voert onderzoek uit en helpt de luchtvaartsector grip te houden op en inzicht te krijgen in processen die de vliegveiligheid kunnen beïnvloeden. Dat houdt onder andere in dat NLR wordt ingeschakeld om onderzoek te doen naar de oorzaak van ongevallen.*

*Gerard van Es is principal consultant flight operations en flight safety bij NLR. “Grote ongevallen met vliegtuigen zijn uitzonderingen, maar ze maken een grote impact en blijven je je hele leven bij.” Zijn carrière staat hoofdzakelijk in het teken van het voorkomen van dit soort ongevallen. “Wij werken hier elke dag aan het verbeteren van de vliegveiligheid. Dat doen we door de kennis van de omstandigheden waarin gevlogen wordt, te vergroten met onderzoek en innovaties. Veiligheid staat voorop bij de luchtvaart, sterker nog, het is een van de veiligste vormen van vervoer.”*

# Risico's beheersen: ALBATROS maakt luchtvaart toekomstbestendig

De luchtvaart staat aan de vooravond van grote veranderingen. Zo beloven nieuwe typen vliegtuigen – aangedreven door elektriciteit of waterstof – schoner vliegen. Maar ze brengen ook nieuwe risico's met zich mee. Hoe ga je bijvoorbeeld om met een waterstoflek op een luchthaven? Binnen het Europese onderzoeksproject ALBATROS werkt NLR samen met 20 partners uit verschillende landen aan antwoorden op dit soort vragen. Zo zijn straks, naast de nieuwe technologieën, ook alle bijbehorende procedures helemaal klaar voor gebruik.

In het project ALBATROS, dat wordt geleid door NLR, wordt onderzocht hoe luchthavens in de toekomst veiliger, veerkrachtiger en duurzamer kunnen opereren. Projectleider Wouter van Engelen: "Nieuwe technologieën, zoals waterstof- en elektrische vliegtuigen, vragen om een andere benadering van veiligheid. We willen voorkomen dat de technologie straks klaar is, maar dat de procedures en veiligheidsmaatregelen nog achterlopen."

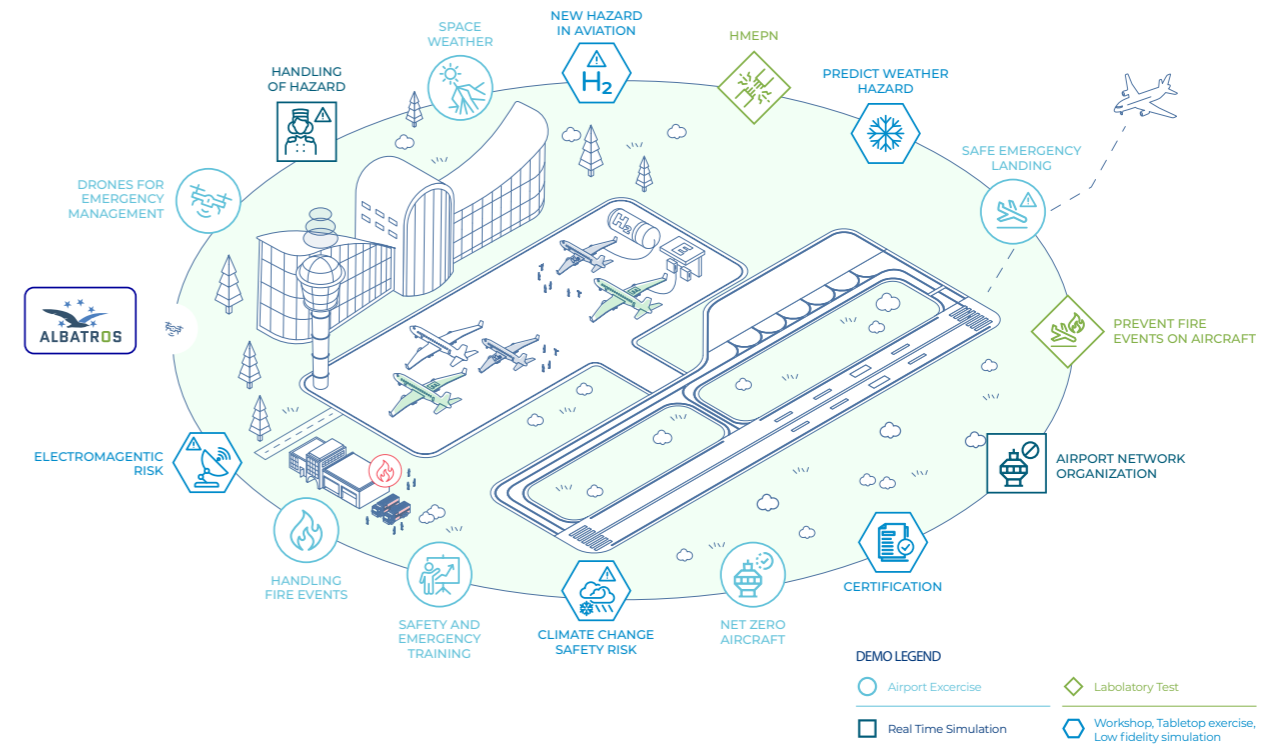
Het project, dat wordt gefinancierd vanuit Horizon Europe, richt zich op verschillende ontwikkelingen die de luchtvaart in de komende jaren ingrijpend kunnen veranderen. Naast nieuwe vliegtuigtechnologieën gaat het bijvoorbeeld ook over extreem weer – dat door klimaatverandering vaker voorkomt – en digitale dreigingen zoals cyberaanvallen. "Al deze factoren hebben invloed op de veiligheid van luchthavens,"

zegt Van Engelen. "We kijken naar de hele keten: van piloten en cabinepersoneel tot luchtverkeersleiding en hulpdiensten op de grond."

ALBATROS kijkt daarbij niet alleen naar techniek, maar ook naar menselijk presteren, besluitvorming en training. Binnen het project worden onder meer datagedreven veiligheidsmodellen, decision support tools en trainingsmateriaal ontwikkeld, zodat innovaties niet alleen technisch werken, maar ook operationeel toepasbaar zijn in de praktijk.

## Vijftien demonstraties

Binnen het project worden vijftien demonstraties uitgevoerd, waarin concepten, technologieën en ondersteunende tools worden gevalideerd in relevante omgevingen in Europa, zoals luchthavens, vluchtsimulators en crisiscentra, bijvoorbeeld in



*"We kijken naar de hele keten"*

Portugal, Griekenland en Nederland. Daarnaast omvat het project ook testen op andere locaties, bijvoorbeeld om experimenten met batterijpakketten voor elektrische vliegtuigen te doen.

Door oefeningen op meerdere locaties uit te voeren, kunnen onderzoekers nagaan of de ontwikkelde procedures niet alleen in één specifieke omgeving werken, maar ook toepasbaar zijn op verschillende

typen luchthavens. "Dat maakt het mogelijk om de resultaten later breder in de Europese luchtvaartsector te implementeren", aldus Van Engelen.

## Demonstratie op Rotterdam The Hague Airport

Een opvallende demonstratie vond eind 2025 plaats op Rotterdam The Hague Airport. Tijdens een grootschalige veiligheidsoefening werd een noodsituatie nagebootst met een Airbus A320neo van Aegean Airlines. Het toestel fungeerde als een fictief waterstofvliegtuig met een lek in het brandstofsysteem. Dat is een probleem vanwege brandgevaar. De luchtverkeersleiding gaf een



### Aan de basis van innovaties in de luchtvaart

*Nadat Kylie Knepper haar studie Mechanical Engineering aan de Universiteit Twente afrondde, ging ze meteen aan de slag bij NLR. En wel op de afdeling Vertical Flight and Aeroacoustics. Dat is inmiddels meer dan tien jaar geleden en ze leert nog elke dag.*

*Kylie staat als R&D engineer Aeroacoustics aan de basis van belangrijke innovaties in de luchtvaart op dit moment. Aerodynamica en akoestiek zijn sterk met elkaar verbonden. Het verbeteren van de aerodynamica is een effectieve manier om ook geluidhinder van toestellen tegen te gaan. "Om het geluid van een vliegtuig zoveel mogelijk te beperken, kijken we hoe we de lucht rondom een vliegtuig zo efficiënt mogelijk zouden kunnen laten stromen", zegt Kylie. Verbeteringen aan vliegtuigen, bijvoorbeeld het verhogen van de aerodynamica en het lichter maken van het toestel, zorgen zowel voor duurzamere als voor economisch efficiëntere luchtvaart. "Als je bijvoorbeeld minder brandstof verbruikt, dan maakt dat een vlucht goedkoper én duurzamer."*

noodmelding door, waarna de luchthavenbrandweer werd opgeroepen. Tegelijkertijd steeg een drone van NLR op om het incident vanuit de lucht te monitoren. Met behulp van een warmtecamera, gemonteerd op de drone, kon het team zien waar zich hitte ontwikkelde aan de achterkant van het vliegtuig.

"Het bijzondere aan waterstof is dat de vlam nauwelijks zichtbaar is," zegt Van Engelen. "Bij een traditionele brand voel je de hitte en zie je rook. Bij waterstof is dat veel minder duidelijk. Daarom zijn sensoren en drones met warmtecamera's cruciaal om snel te begrijpen wat er gebeurt." De dronebeelden werden in realtime gedeeld met de hulpdiensten op de grond, zodat zij zich goed konden voorbereiden op de situatie.

De projectresultaten moeten er uiteindelijk voor zorgen dat luchthavens, luchtvaartmaatschappijen, hulpdiensten en andere partijen beter voorbereid zijn op nieuwe risico's. Zo helpt ALBATROS om de invoering van nieuwe technologieën, zoals elektrisch en waterstofvliegen, te koppelen aan concrete procedures, training en samenwerking in de praktijk.

<b>PERIODE</b>	2022 - 2026
<b>PROJECTPARTNERS</b>	zie: albatros-horizon.eu
<b>STRATEGISCH THEMA</b>	Concurrerend vermogen van de lucht- en ruimtevaart
<b>NLR-KENNISPROGRAMMA</b>	Onbemand en autonoom
<b>OVERHEIDSBELEID</b>	Kennisagenda Luchtvaart, IKIA Klimaat en Energie

## Het beste team samenstellen met data

Drone-operators krijgen dagelijks te maken met een enorme stroom aan complexe informatie, zowel vanuit de drones als vanuit hun omgeving. Het is belangrijk dat ze snel de juiste beslissingen nemen met de beschikbare informatie. Maar hoe doen zij dat? Hoe kunnen ze hun prestaties optimaliseren met gebruik van technologie? Dat onderzoekt NLR, samen met het ministerie van Defensie, binnen het project Team Metrics.

"Technologisch gezien is er veel mogelijk, maar de mens moet wel mee kunnen", zegt Maykel van Miltenburg, senior scientist binnen de afdeling human performance and safety van NLR. In het project Team Metrics onderzoekt NLR samen met TNO en Air Force Research Laboratory (AFRL) hoe de slimme inzet van techniek de prestaties van de mensen kan verbeteren. "We moeten meer werk verzetten met minder mensen, dus moeten we optimaliseren", zegt Van Miltenburg. "Het ministerie van Defensie wil hiermee de inzet van de mensen in het veld flexibeler en robuuster maken."

Zo kan een commandant bijvoorbeeld vooraf beter onderbouwd inschatten in hoeverre een team klaar is voor een bepaalde operatie, aldus Van Miltenburg. "Is het team scherp of is er iemand te vermoeid? Ook tijdens de operatie zelf geeft het inzicht. Uiteindelijk gaat het erom dat we de techniek en de mensen zodanig combineren dat teams onder uiteenlopende omstandigheden effectief en veilig blijven functioneren."

### Mentale toestand

Een deel van het onderzoek richt zich op een semi-realistische simulatie van een multi-dronetaakomgeving waarbij meerdere drones tegelijk rondvliegen. In deze simulatie werken een navigator en bijvoorbeeld een pilot-operator nauw met elkaar samen. Gedurende het proces zijn zij voorzien van allerlei meetapparatuur die continu en automatisch objectieve data genereren. De data geven inzicht in de mentale toestand van de operators. Van Miltenburg is projectleider van deze simulatie.

Bij een toenemende of afnemende stroom aan informatie analyseren onderzoekers onder meer de breinactiviteit, hartslag, oogbewegingen en zweetreactie, maar ook gezichtsuitdrukking en intonatie. Deze gegevens koppelt het onderzoeksteam aan de geleverde prestaties, waardoor inzicht ontstaat in zowel de individuele belasting als het functioneren van het team als geheel. Bijvoorbeeld wie pikt op welk

moment relevante informatie op en hoe beïnvloedt dat de samenwerking. Van Miltenburg: “We geven inzicht in welke teamsamenstelling goed werkt in een specifieke omgeving voor een bepaalde taak. Waar dit voorheen vooral op ervaring was gebaseerd, kunnen we dit met technologie nu objectiever onderbouwen.”

### Meetbatterij

Tijdens het onderzoek is een grote hoeveelheid informatie gegenereerd. Het is niet de bedoeling dat in de praktijk met de hele batterij aan meetapparatuur gewerkt wordt, zegt Van Miltenburg. “We bouwen de meetapparatuur af naar minimale apparatuur die continu in de praktijk kan worden ingezet, zodat reacties en prestaties zo onopvallend mogelijk gemeten kunnen worden.”

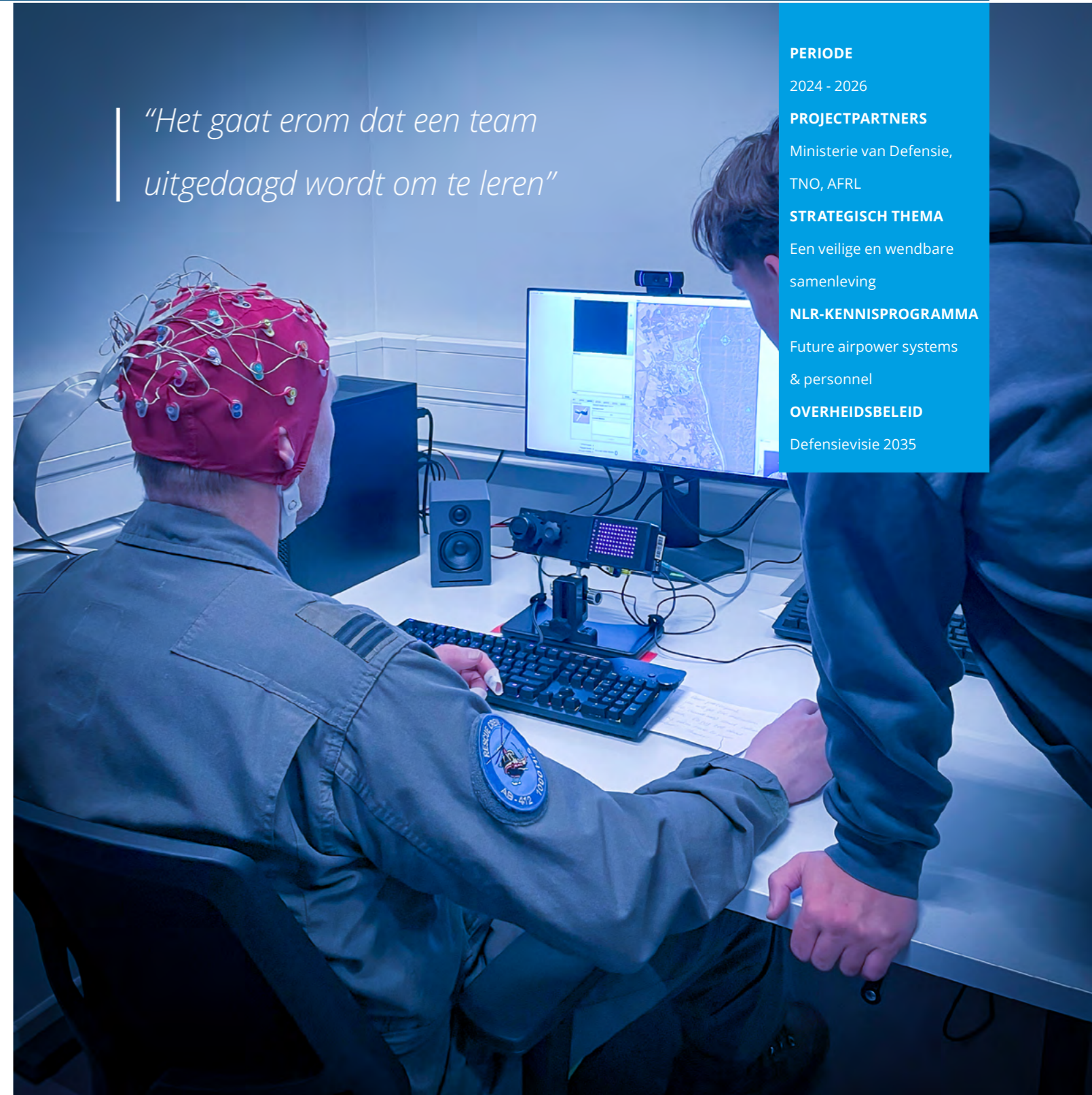
### Uitdaging versus overprikkeling

De uiteindelijke data zijn niet alleen voor de samenstelling van een team interessant. Tijdens de training van nieuwe operators zijn de data ook te gebruiken. Instructeurs kunnen de informatie bijvoorbeeld als ondersteuning toepassen om te zien wanneer de werkdruk te hoog gaat worden voor een trainee, zegt Van Miltenburg. Dan kan een instructeur tijdig ingrijpen en zorgen dat de training beter aansluit bij de leercurve van de individuele trainee, maar ook van het team als geheel. “Het gaat erom dat een team uitgedaagd wordt om te leren, maar niet overprikkeld raakt. Zo leert het team als het ware sneller.”

Daarnaast kunnen de data achteraf waardevolle inzichten opleveren, zegt Van Miltenburg. “Tijdens een debriefing kan een team bijvoorbeeld zien wanneer de werklust opliep en waar de aandacht op dat moment naartoe ging. Dit helpt om patronen te herkennen en het handelen de volgende keer te verbeteren.”

### Snijvlak

Van Miltenburg denkt nog een stap verder. “We helpen operators ook te bepalen welke taken geautomatiseerd kunnen worden, zodat zij zich kunnen concentreren op de meest cruciale informatie. Dat maakt teams niet alleen effectiever, maar ook robuuster: ze blijven beter presteren onder wisselende omstandigheden en zijn minder gevoelig voor overbelasting of fouten van individuen. Tegelijkertijd worden ze flexibeler, doordat we beter begrijpen welke samenstellingen en taakverdelingen het beste werken voor een specifieke situatie.” Het is steeds zoeken naar de juiste balans, aldus Van Miltenburg. “We begeven ons met dit project echt op het snijvlak van de mens en de technologie.”



“Het gaat erom dat een team uitgedaagd wordt om te leren”

#### PERIODE

2024 - 2026

#### PROJECTPARTNERS

Ministerie van Defensie,  
TNO, AFRL

#### STRATEGISCH THEMA

Een veilige en wendbare  
samenleving

#### NLR-KENNISPROGRAMMA

Future airpower systems  
& personnel

#### OVERHEIDSBELEID

Defensievisie 2035

**PERIODE**

2023 - 2026

**PROJECTPARTNERS**

Ministerie van Defensie,  
TNO en partners als politie,  
de NCTV, LVNL en Schiphol

**STRATEGISCH THEMA**

Een veilige en wendbare  
samenleving

**NLR-KENNISPROGRAMMA**

Future airpower systems &  
personeel

**OVERHEIDSBLEID**

Defensievisie 2035

## Effectieve bescherming tegen kwaadwillende drones

Drones zijn niet meer weg te denken. Dat geldt ook voor het strijdveld. Deze nuttige apparaten hebben ook een schaduwkant: misbruik ligt op de loer. Er komen echter steeds meer systemen die ons tegen kwaadwillende drones beschermen. Toch loopt die bescherming achter op de razendsnelle evolutie van de drone. NLR brengt binnen het project C-UAS civiele partijen en Defensie bij elkaar om de ontwikkeling en integratie van beschermingssystemen te versnellen.

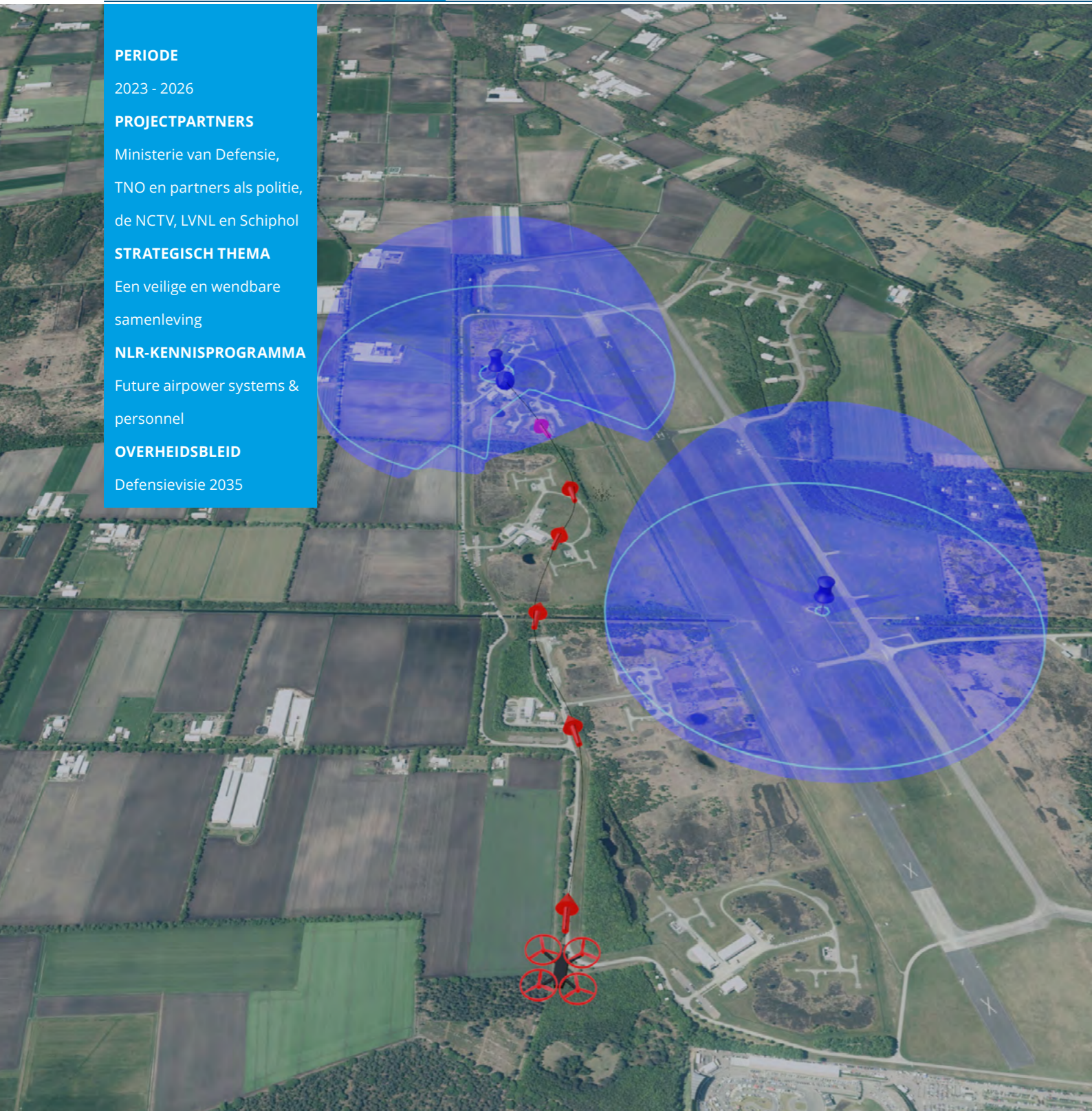
C-UAS staat voor Counter Unmanned Aerial Systems, licht Jacco Dominicus, C-UAS-programmaleider en principal R&D engineer binnen de NLR-afdeling Defence Operations, toe. Het C-UAS-project is bedoeld om zicht te krijgen op wat wel en niet goed werkt en in welke omstandigheden. Doordat de ontwikkelingen zo snel gaan, is het een doorlopend project, aldus Dominicus. "Het is een gecompliceerd onderwerp met vele technische, operationele, juridische en morele vraagstukken en blijft de komende decennia actueel." Zowel de marechaussee en de marine als de lucht- en de landmacht zijn betrokken, maar ook civiele partijen, zoals politie en gevangenis, vliegvelden en havens.

### Slimme combinaties

Om drones effectief te detecteren is een combinatie van methoden nodig, licht Dominicus toe. "Een radar kan een drone prima zien, maar heeft weer moeite

om laagvliegende drones op tijd te detecteren. Een akoestische sensor hoort de drones, maar heeft een beperkt bereik. Gecombineerd met een radar is zo'n sensor effectiever. De tegenstander moet hoog vliegen om de akoestische sensor te vermijden. Met de radar zijn de drones vervolgens te zien."

Afzonderlijke systemen analyseren bijvoorbeeld een vluchtpatroon, hoogte en snelheid, vangen besturingssignalen op en lezen de identiteit (de zogenaamde Remote ID) van de drone of bestuurder uit. Binnen het project gaat het erom waarnemingen slim te combineren en vervolgens te controleren of die waarnemingen kloppen, aldus Dominicus. Als een operator inderdaad drones signaleert, kan die bijvoorbeeld besluiten de datalink-signalen van de drone te verstoren; dat heet jammen.



Het proces van waarnemen, verifiëren, besluiten en aangrijpen gebeurt nu nog veelal door mensen. In de toekomst zal dat proces steeds vaker (deels) geautomatiseerd verlopen, zegt Dominicus. Bijvoorbeeld door het gebruik van AI om drones te herkennen.

### Klassieke luchtverdediging

Al lange tijd wordt er onderzoek gedaan naar verschillende toepassingen van drones binnen Defensie. Sinds 2020 ligt de focus ook meer en meer op het vinden van manieren om ons land en dat van bondgenoten te beschermen tegen drones van mogelijke vijanden. Daarvoor hebben we – naast de traditionele luchtverdediging – andere systemen nodig. Dominicus: “We zijn op zoek naar systemen die veelvuldig voorhanden zijn en betrekkelijk goedkoop.”

### Bij elkaar brengen

Binnen de NLR-vestiging in Marknesse werkt het team aan het nieuw op te richten Drone Detection Centre. Dat doet het samen met het reeds bestaande NLR Drone Centre. In het nieuwe centrum komen verschillende waarnemingsmiddelen te staan waarmee de industrie producten kan testen. Daarnaast worden de waarnemingen op een slimme manier bij elkaar gebracht, ook wel sensor fusion genoemd, legt Dominicus uit. “We zetten ook drones in die vooraf bepaalde scenario’s uitvoeren en zo een tegenstander simuleren.”

*“Om drones effectief te detecteren is een combinatie van methoden nodig”*

### Internationale oefening

De opgedane kennis en ervaring werd al ingezet om evenementen als de Formule-1 in Zandvoort en de Dodenherdenking te beveiligen. Ook bij de NAVO-top in juni 2025 was het NLR-team actief. In mei 2026 host NLR een sinds 2020 jaarlijks terugkerende grootschalige internationale oefening. “Vorig jaar was er geen internationale oefening, omdat iedereen die iets met C-UAS deed, met de NAVO-summit bezig was. In 2026 organiseren wij deze grootschalige oefening bij onze vestiging in Marknesse. Dat is iets nieuws voor ons. We kijken ernaar uit om te laten zien hoe wij zo’n complexe oefening faciliteren.”



## Snel het luchtruim evacueren bij dalend ruimtepuin

Het wordt steeds drukker in het luchtruim en de ruimte met allerlei soorten vliegtuigen, satellieten en raketten. Langzaam neemt daarmee ook de kans toe dat ruimtepuin tegen een vliegend object kan botsen. In het project Uncontrolled Re-entry tonen onderzoekers van NLR aan dat, mocht het nodig zijn, het luchtruim binnen twintig minuten gecontroleerd kan worden geëvacueerd.

Afgedankte satellieten en onderdelen van raketten of shuttles, zoals lege rakettrappen die na de lancering afgekoppeld zijn, kunnen ongecontroleerd vanuit de ruimte, de atmosfeer van de aarde in vallen. “Het door NASA vastgestelde maximale risico op slachtoffers bij de terugkeer van ruimteobjecten is 1 op 10.000”, zegt Wissam Chalabi, R&D engineer bij NLR. “Maar de kans dat die een vliegtuig raken is in 2035 zeven keer groter.”

Chalabi benadrukt dat die kansberekening een wiskundige formule is. “Als het gebeurt, maakt het niet uit wat die kans was. We willen een botsing koste wat kost voorkomen. Zo’n brok ruimtepuin kan veel impact hebben. Het heeft niet alleen catastrofale gevolgen voor de passagiers en bemanning van een vliegtuig, maar levert ook gevaar op voor mensen op de grond, als het uiteindelijk op aarde landt.”

### De tussenruimte

Met zijn collega’s startte Chalabi het project Uncontrolled Re-entry. Dat is onderdeel van het bredere project NearSpace dat NLR in 2024 begon. Daarin onderzoekt NLR het gebied tussen de ruimte en het luchtruim. Het zogenoemde tussengebied begint op 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 het aardoppervlak. Commerciële vliegtuigen bereiken maximaal een hoogte van zo’n 20 kilometer boven de aarde. Boven de 100 kilometer vliegen vooral ruimtevaartuigen, satellieten en raketten.

In de tussenruimte was lange tijd weinig activiteit, zegt Chalabi. “Maar het wordt ook daar steeds drukker.” Zo lopen er meerdere initiatieven voor supersnelle vliegtuigen die net boven het huidige luchtruim vliegen.

**PERIODE**

2025

**STRATEGISCH THEMA**

Een veilige en wendbare samenleving

**NLR-KENNISPROGRAMMA**

Veilige en concurrerende operatie

**OVERHEIDSBELEID**

Lange-termijn

Ruimtevaartagenda (LTR)

Ook neemt het aantal satellieten toe die data verzamelen, bijvoorbeeld om veiligheids- en milieuredenen. “Tot voor kort was er weinig coördinatie in dat gebied nodig”, zegt Chalabi. Die coördinatie is nu wel nodig, zeker wanneer er vanuit de ruimte een stuk ruimtepuin op aarde stort. “Wij onderzoeken het scenario van een ongecontroleerde terugkeer van ruimtepuin en hoe de verkeersleiding het gehele luchtruim in dit scenario veilig en efficiënt kan beheren.”

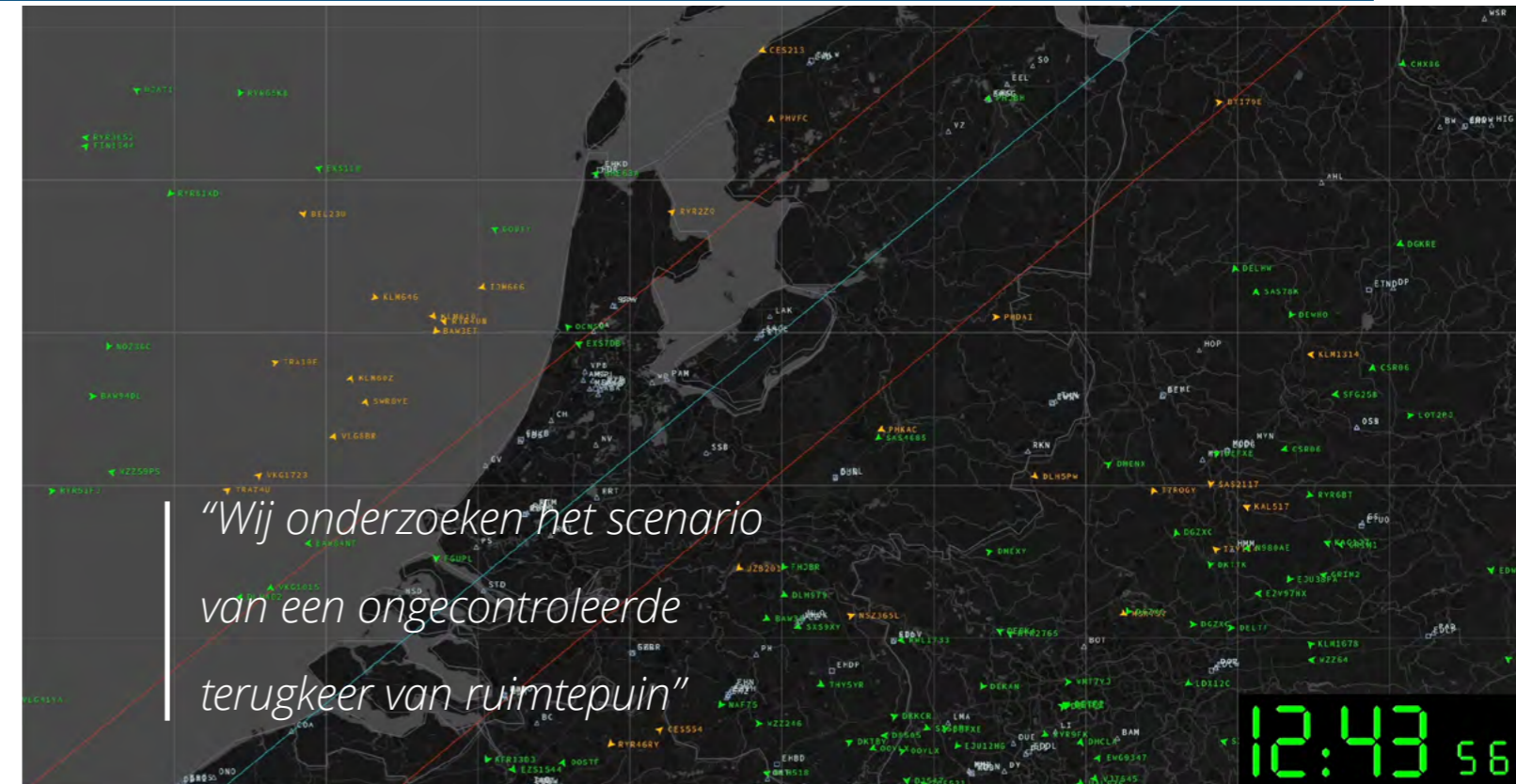
**Gesimuleerde evacuatie**

Om een evacuatie efficiënt te laten verlopen, werkten binnen het project Uncontrolled Re-entry NLR-ingenieurs gespecialiseerd in air traffic management en space traffic management samen. Onder leiding van Chalabi ontwikkelden zij een simulatie waarin binnen twintig minuten een efficiënte evacuatie plaatsvindt.

Die snelle evacuatie kan alleen als aan een aantal voorwaarden voldaan is, zegt Chalabi. Zo moeten luchtverkeersleiders en piloten goed getraind zijn. Daarnaast moeten de juiste hulpmiddelen worden gebruikt om luchtverkeersleiders van de juiste informatie te voorzien. Ook zijn er procedures en voorschriften nodig, zodat ruimtevaartorganisaties en luchtverkeersleiding nauw kunnen samenwerken.

**Eensgezindheid**

“Informatie is daarbij cruciaal. We willen zo concreet mogelijk weten wat het vallende object is, wat de verwachte route ervan is, waar het gaat landen en binnen welk tijdsbestek het door een bepaald gebied kan vallen”, zegt Chalabi. Hij verwijst naar een stuk ruimteafval dat in november 2022 zorgde voor chaos in het luchtruim. Spanje sloot zijn luchtruim voor veertig minuten, boven Portugal vlogen de vliegtuigen gewoon door en Frankrijk sloot het luchtruim gedeeltelijk. Het brokstuk landde in de Zuidelijke Stille Oceaan.



Chalabi: “Dat landen verschillende keuzes maakten, wijst op een gebrek aan coördinatie en eensgezindheid bij de aanpak van dit soort gebeurtenissen. We willen dat dit beter wordt gecoördineerd, zodat we in de toekomst allemaal veilig zijn als zo’n stuk ruimtepuin op ons afkomt. Ook al blijft de kans klein dat het gebeurt.”

**Verder werken aan de randvoorwaarden**

Het project Uncontrolled Re-entry leidde tot aanbevelingen over hoe de luchtverkeersleiding zich gecoördineerd en gecontroleerd kan voorbereiden en reageren op neerstortend ruimtepuin. Daarnaast geeft

het inzicht in welke specifieke informatie vanuit ruimtevaartorganisaties nodig is.

Deelnemers aan een conferentie waar Chalabi de resultaten van het onderzoek presenteerde, waren verbaasd dat er in twintig minuten geëvacueerd kan worden. Dat gaf motivatie om ermee verder te gaan”, zegt Chalabi. De volgende stap is het omzetten van de simulatie naar de praktijk. “Dit project was het begin. We nodigen andere partijen uit om bij te dragen aan het vervolg.”

**PERIODE**

2021 - 2025

**PROJECTPARTNERS**

Rotterdam The Hague

Innovation Airport

**STRATEGISCH THEMA**

Duurzame lucht- en

ruimtevaart

**NLR-KENNISPROGRAMMA**

Onbemand en autonoom

**OVERHEIDSBELEID**

IKIA Klimaat en Energie,

Kennissagenda Luchtvaart



## Eerste dronevlucht op vloeibare waterstof

Een drone laten vliegen op vloeibare waterstof? Dat kan! In september 2025 maakte de Hydra-II, de waterstofdrone van NLR, de eerste vlucht. Met de testvlucht van een paar minuten verzamelden de onderzoekers technische kennis en zorgden ze voor de benodigde veiligheidsmaatregelen en -documentatie. Dit is een belangrijke stap in de richting van klimaatneutrale luchtvaart.

“We wilden aantonen dat het mogelijk is om op vloeibare waterstof te vliegen”, zegt Jan-Willem van Doorn, projectengineer bij NLR en projectleider van Hydra-II. Dat het gelukt is, beschouwt hij als een enorme mijlpaal. Het onderstreept volgens Van Doorn de kwaliteit van de onderzoeksorganisatie: “Wij bijten ons vast in een project van de eerste theoretische modellen tot een werkend prototype. Daarop kunnen andere projecten, al dan niet binnen NLR, weer verder bouwen.”

### -253 graden Celsius

In 2019 vloog NLR al met een drone op gasvormige waterstof. Van Doorn: “Vergeleken met vliegen op batterijen is vliegen op waterstof een stuk energielichter. Eén kilo waterstof bevat meer energie dan één kilo batterijen. Gasvormige waterstof is alleen heel volumineus, waardoor het onder hoge druk gecomprimeerd moet worden om mee te nemen aan boord van een drone of vliegtuig. Dat maakt de tank zwaar en daarmee minder geschikt. Van vloeibare waterstof

kunnen wel grotere hoeveelheden meegenomen worden, wat het mogelijk maakt om langer te vliegen.”

Het maken van de vloeibare waterstoftank vormde een van de grootste technologische uitdagingen. Om waterstof vloeibaar te houden, moet het -253 graden Celsius zijn, 20 graden boven het absolute nulpunt, legt Van Doorn uit. “Vacuïmisolatie is de beste manier om het koud te houden. We zorgen dan dat er een vacuüm tussen de binnen- en buitentank zit.” Door deze isolatie duurt het ongeveer vier uur voordat de waterstof uit de tank is verdampt. De tank - waarmee de drone uiteindelijk vier uur moet kunnen vliegen - werd gemaakt door Cryoworld.

### Integratie

Er is een brandstofcel nodig om van waterstof elektriciteit te maken. Daarvoor moet de vloeibare waterstof naar gasvormig worden teruggebracht, “want de brandstofcel kan niet omgaan met vloeibare waterstof”. Een warmtewisselaar verwarmt de waterstof

naar 30 graden en leidt het naar de brandstofcel. Daarin vindt een chemisch proces plaats waarbij zuurstof en waterstof worden omgezet in water en elektriciteit. Ook komt er ongeveer net zoveel warmte als elektriciteit vrij die weggeleid moet worden.

Om de hitte weg te geleiden, zijn er uitgebreide grondtesten uitgevoerd om het thermische gedrag van de brandstofcel in de romp van de drone te begrijpen, zegt Van Doorn: "We zijn erin geslaagd om alle onderdelen te integreren, zodat de drone veilig en legaal kan vliegen." Zo werden er procedures ontwikkeld om veilig met waterstof om te gaan. "De binnen Hydra-II ontwikkelde richtlijnen gelden nu als de standaard binnen NLR voor het werken met vloeibare waterstof."

### Vergunning

Sinds januari 2021 is de Europese drone-wetgeving van kracht. "De nieuwe regelgeving was onduidelijk over de eisen die werden gesteld aan vliegen op waterstof", zegt Van Doorn. Om legaal op waterstof te kunnen vliegen, werkten Van Doorn en zijn team in nauw contact met de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) aan een vergunning.

De waterstofdrone is een stap richting een bemand, op vloeibaar waterstof vliegend vliegtuig. Zo vormt Hydra-II de basis voor het project PHYREX. Binnen dat onderzoek wordt de PH-NLX, een elektrisch tweepersoonsvliegtuig van NLR, uitgerust met een brandstofcel die waterstof omzet in elektriciteit. Hierbij wordt de binnen Hydra-II opgedane kennis over het ontwerp en de productie van de waterstoftank toegepast. Van Doorn: "We gebruikten het ontwerp van de Hydra-II-tank en bouwden die om naar een grotere variant voor NLR's elektrische vliegtuig."

### Puzzelstuk

Hydra-II krijgt een vervolg in het vierjarige Europese project TULIPS (Demonstrating lower polluting solutions for sustainable airports across Europe), dat innovaties ontwikkelt om de luchtvaart te verduurzamen. "Op Rotterdam Airport geven we eind april 2026 een demonstratie om in het klein te laten zien wat erbij komt kijken, qua infrastructuur en logistiek, als er met een waterstoftoestel vanaf een vliegveld wordt gevlogen. Bijvoorbeeld bij het tanken en taxiën. Hydra-II is zodoende een solide puzzelstuk in de puzzel naar een klimaatneutrale luchtvaart in 2050."



"Eén kilo waterstof bevat meer energie dan één kilo batterijen"

## Samenspel van het mkb met NLR

Het Nederlandse mkb is van groot belang voor de innovatiekracht van de Nederlandse luchtvaart- en defensiesector. NLR werkt nauw met deze bedrijven samen aan technologische vernieuwing, risicobeheersing en de opbouw van intellectueel eigendom. Deze samenwerking komt op verschillende manieren tot stand en maakt het voor NLR mogelijk om het Nederlandse ecosysteem en de internationale positie van het mkb te kunnen versterken.

Het Nederlandse midden- en kleinbedrijf (mkb), inclusief deeptech-startups en scale-ups, vormt een belangrijk onderdeel van de Nederlandse economie en daarmee ook van het luchtvaartecosysteem. Waar startups zich nog richten op schaalbaarheid en vorm geven aan hun businessmodel, bevinden scale-ups zich al in een verder gevorderd stadium. Deze snel groeiende ondernemingen beschikken inmiddels over een bewezen businessmodel. NLR ondersteunt beide soorten mkb-ondernemingen bij de ontwikkeling van technologische innovaties, en doet dat op verschillende manieren.

### Bilateraal contractonderzoek

NLR zet tal van onderzoeksprojecten op in samenwerking met technologie-georiënteerde mkb'ers, met als doel om concepten om te zetten in concrete toepassingen. Deze kleinere innovatieve bedrijven weten ons steeds beter te vinden. Dat gebeurt onder andere via het NLR-startupprogramma dat directe toegang biedt tot

*“Dankzij de samenwerking met NLR hebben we directe toegang tot hoogwaardige kennis, gecombineerd met state-of-the-art computermodellen en faciliteiten voor analyse en verificatie van onze technologie. NLR is daarmee een onmisbare schakel in ons ecosysteem voor de ontwikkeling van ons batterij-elektrische vliegtuig en de onderliggende technologie. De expertise van NLR is direct toepasbaar voor bijvoorbeeld het dimensioneren van ons thermal management-systeem en de staartsectie, inclusief stuurvlakken. In de nabije toekomst verwachten we vergelijkbare onderzoeken met NLR te kunnen uitvoeren, om onze technologie verder te ontwikkelen”*

**Rob Wolleswinkel,**  
Co-CEO en CTO Elysian Aircraft

topkennis, expertise en faciliteiten binnen de lucht- en ruimtevaartsector. Ook worden contacten gelegd via de NLR-adviescommissies, via beurzen, symposia en evenementen, of via de netwerken van onze collega's.

Een concreet voorbeeld is het bedrijf Elysian Aircraft dat met ons de samenwerking opzocht. NLR heeft deze Nederlandse onderneming (opgericht in 2023) ondersteund bij een thermal management-onderzoek en een stability and control-onderzoek voor het batterij-elektrisch aangedreven vliegtuig, de E9X, dat Elysian ontwikkelt. Daarnaast werken NLR en Elysian ook samen op het gebied van batterij-elektrische aandrijflijnen voor defensie-toepassingen.

### Overheid-gesubsidieerde constellaties

Naast een-op-een-samenwerkingen werkt NLR ook nauw samen met mkb'ers binnen verschillende door de overheid gesubsidieerde constellaties. Dit gebeurt onder meer binnen Nationaal Groeifonds-programma's zoals 'Luchtvaart in Transitie' (LiT), 'NXTGEN HighTech' en 'Duurzame MaterialenNL'. Daarnaast is NLR actief in projecten voor 'Holland High Tech' (TKI HTSM), via de TSH-regeling voor de vliegtuigmaakindustrie (Topsector High Tech) en binnen de zogenoemde Defensie Technologieprojecten (DTP).

Aanvullend hierop speelt NLR een prominente rol in Europese aanbestedingen, programma's en partnerschappen, zoals met ESA op het gebied van ruimtevaart, en in de kaderprogramma's 'Horizon Europe', 'Clean Aviation' en SESAR in de luchtvaart, en EDF ten behoeve van Defensie.

Gezamenlijk verkennen NLR en andere Nederlandse partijen daarbij interessante mogelijkheden tot samenwerking. Vervolgens wordt besproken welke aanvullende partijen – en in welke rol – kunnen worden betrokken om samen een consortium te vormen.

Het AnDREA-project<sup>1</sup> is hiervan een goed voorbeeld. Dit project ontving subsidie via de TSH Vliegtuigmaakindustrie en richt zich op de ontwikkeling van schonere en efficiëntere vliegtuigen. Onder leiding van de jonge onderneming Elysian werkt een consortium bestaande uit NLR, DNW en TU Delft samen met industriële en onderzoekspartners aan de ontwikkeling en het testen van ontwerptools. Deze tools zijn gericht op nieuwe vliegtuigconfiguraties en integratieconcepten, met als uiteindelijke doel elektrische voortstuwing mogelijk te maken.

<sup>1</sup><https://www.rvo.nl/subsidies-financiering/tsh-vliegtuigmaakindustrie/nieuwe-selectie-projecten-tsh-2025#andrea---aerodynamische-weerstandreductie-voor-elektrische-vliegtuigen>

*“T-Minus ontwikkelt, produceert en lanceert raketten voor wetenschappelijk onderzoek en defensietoepassingen. In die zin is het erg praktisch dat we gebruik kunnen maken van een veilige testlocatie op het NLR-terrein in Marknesse. Dit biedt ons de ideale gelegenheid om de synergie te versterken tussen de ambities en ontwikkelingen van NLR en T-Minus”*

**Hein Olthof,**

mede-eigenaar T-Minus Engineering

### Industriële participatie

Met het oog op de krijgsmacht beschikt Nederland over een innovatieve defensie- en veiligheidsindustrie. De marktvoordefensiematerieel is echter geëngelijkwaardig speelveld, zeker niet wanneer landen over een eigen nationale defensie-industrie beschikken. In dat geval maken buitenlandse partijen minder kans op orders. Wanneer het ministerie van Defensie militaire goederen in het buitenland aanschaft, kan industriële participatie uitkomst bieden: de Nederlandse overheid vraagt dan om tegenorders bij Nederlandse producenten.

Via deze industriële participatie, en door het vroegtijdig betrekken (early involvement) van relevante partijen, werkt NLR nauw samen met mkb'ers. NLR zet zich actief

in voor de promotie van het Nederlandse ecosysteem en verbindt dit aan de toeleveringsketen (supply chain) van grote internationale vliegtuigbouwers – original equipment manufacturers (OEM's) – zoals Lockheed Martin, Bell en Boeing. Ook brengt NLR andere grote internationale spelers, waaronder Airbus en Embraer, in contact met relevante Nederlandse hightechbedrijven.

Hiermee vervult NLR een spilfunctie door interessante mkb'ers te koppelen aan bijvoorbeeld vliegtuigfabrikanten om in specifieke behoeften te kunnen voorzien. Een illustratief voorbeeld hiervan is de gezamenlijke ontwikkeling van NLR en PhotonFirst van een innovatieve SHUMS-oplossing (*Structural Health and Usage Monitoring System*) voor helikopters<sup>2</sup>.

*“Onze samenwerking met NLR is essentieel om onze optische sensortechnologieën om te zetten in goedgekeurde toepassingen voor wereldwijde luchtvaart-OEM's. We zijn trots om samen een nieuwe benchmark te zetten in zogenoemde structural health monitoring”*

**Leendert-Jan Nijstad,**

CEO van PhotonFirst

*“Samen met andere luchtvaartpartijen levert NLR een belangrijke bijdrage om het Nederlandse ecosysteem verder te versterken. Zo heeft NLR onder andere bijgedragen aan het optimaliseren van onze website om meer inzicht te geven in Nederlandse en Europese subsidiemogelijkheden<sup>3</sup>. Hiermee kunnen partijen makkelijker inspelen op nieuwe opportuniteiten”*

**Mark Ommert,**

Public Affairs & Industry relations

manager bij NAG-LRN

### Business development

Het omzetten van internationale kansen naar nieuwe mogelijkheden voor Nederlandse partijen is niet altijd eenvoudig. Door krachten te bundelen is het mogelijk om samen een sterk front te vormen. Verschillende ondersteunende organisaties, zoals branchevereniging NAG-LRN voor de Nederlandse luchtvaartindustrie, en netwerkorganisaties zoals NIDV (Nederlandse Industrie voor Defensie en Veiligheid) en SpaceNed, spelen hierin een belangrijke rol. Als kennis- en onderzoekscentrum maakt NLR ook onderdeel uit van het ecosysteem en werkt daarom nauw met deze partijen samen om de nationale sector stevig op de internationale kaart te zetten.

### Wat we met het mkb bedoelen

Het midden- en kleinbedrijf, oftewel het mkb, is een verzamelnaam voor de bedrijfssector waar volgens de Rijksdienst voor ondernemend Nederland (RVO) drie soorten ondernemingen toebehoren.

Grootte	# medew.	Jaaromzet	Jaarbalans
Middelgroot	< 250	≤ €50 mln	≤ €43 mln
Klein	< 50	≤ €10 mln	≤ €10 mln
Micro	< 10	≤ €2 mln	≤ €2 mln

Bron: [RVO](#)

Binnen deze groep richt NLR zich met name op de zogenoemde deeptech-startups en scale-ups. NLR ondersteunt beide type ondernemingen bij de ontwikkeling van technologische innovaties die voor de ondernemingen alleen nog (te) veel technologische of financiële risico's met zich meebrengen.

<sup>2</sup> <https://www.nlr.org/nl/newsroom/nieuws/nlr-en-photonfirst-voor-real-time-conditiebewaking-van-helikopters/>

<sup>3</sup>Zie hier: <https://nag.aero/nag/public-funding-in-aerospace/>

# Over Koninklijke NLR

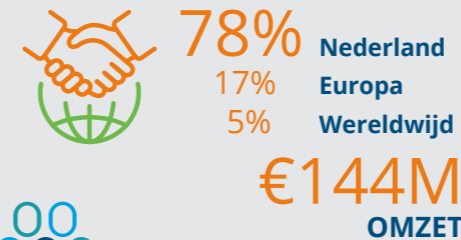
NLR is ruim 100 jaar een ambitieuze toegepast onderzoeksorganisatie, gedreven om te blijven vernieuwen ten behoeve van een duurzame, veilige, efficiënte en effectieve lucht- en ruimtevaart. Op objectieve en onafhankelijke wijze leggen we nu het fundament voor een toekomstgericht betekenisvolle, maatschappelijke 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 satellietvestiging 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](http://www.nlr.org).

## WAAR ZITTEN ONZE KLANTEN?



## NETTO 0 TON CO<sub>2</sub> SCOPE 1 & 2



## NLR IN DE MEDIA

EARNED MEDIA: **346**   
 NLR benoemd in nieuws- en vakmedia  
 210 berichten in Nederlandse media  
 136 berichten in buitenlandse media





WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES **98**   
 PROMOVEDI **19** 

**18**   
 VERSCHILLENDE NATIONALITEITEN

WO **55,7%**  
 HBO **26,5%**  
 MBO/overig **17,8%** 

## OPLEIDINGSNIVEAU

**82,4%**   
 MAN  
**17,5%**   
 VROUW

**0,1%**   
 NON-BINAIR

**35,3%**  
 MARKNESSE

**0,5%**   
 ROTTERDAM  
**64,2%**  
 AMSTERDAM

## NLR-LOCATIES

## LEEFTIJDSCATEGORIE

**22,2%** <29  
**25,5%** 30-39  
**16,3%** 40-49  
**20,7%** 50-59  
**15,4%** 60>

De genoemde projecten in deze impactrapportage zijn mede mogelijk gemaakt door ondergenoemde instanties en haar leden daar waar van toepassing. De in de projectartikelen uitgedrukte meningen weerspiegelen uitsluitend de mening van de auteur.

Een aantal projecten heeft financiering ontvangen van andere partijen, Nederlandse fondsen en van de Europese Commissie:

- QRDF (pag. 9) en Destination 2025 (pag. 45) hebben directe financiering uit opdrachten ontvangen.
- Het project over lasercommunicatie (pag. 11) heeft financiering ontvangen van het Nationaal Groeifonds en NXTGEN-Hightech.
- BrightSky (pag. 15) heeft financiering ontvangen van het RVO-mobiliteitsfonds.
- Het project over laserwapens (pag. 18), het project binnen het programma Opkomende Technologieën (pag. 21), Metrics (pag. 57) en C-UAS (pag. 61) hebben financiering ontvangen van het ministerie van Defensie.
- TRISTAN (pag. 27) heeft financiering ontvangen van Horizon Europe Chips JU en stichting Holland Hightech (TKI HTSM).
- Het project met SPECTO (pag. 36) heeft financiering ontvangen van NXTGEN-Hightech.
- HEROPS (pag. 39) heeft financiering ontvangen van Clean Aviation Joint Undertaking.
- PrimaVera (pag. 47) heeft financiering van NWO ontvangen.
- ALBATROS (pag. 54) heeft financiering ontvangen van Horizon Europe en stichting Holland Hightech (TKI HTSM).

# COLOFON

## Fotografie:

NLR Multimedia

pag. 12 © ESA

pag. 38 © HEROPS

pag. 41 © Shutterstock

pag. 44 © Destination 2050

pag. 55 © ALBATROS

## NLR Amsterdam

Anthony Fokkerweg 2

1059 CM Amsterdam

+31 88 511 3113

## NLR Marknesse

Voorsterweg 31

8316 PR Marknesse

+31 88 511 4444

info@nlr.nl

www.nlr.org

April 2026

