

C2-ONDERSTEUNING VOOR INFORMATIE GESTUURD OPTREDEN

C. van den Broek (TNO), M. Peerdeman (TNO)

In dit artikel beschrijven de auteurs een aantal aspecten die van belang zijn voor de architectuur van toekomstige systemen die defensie nodig heeft voor efficiënte en effectieve beslissingsondersteuning (C2, *Command and Control*) in verschillende samenwerkingsverbanden (*Joint, Interagency, Multinational* en *Public – JIMP*). Hierbij maken ze gebruik van het begrip architectuur in brede zin; zowel gebruiksfunctionaliteit, applicaties en techniek worden in onderlinge samenhang beschreven. De gepresenteerde inzichten volgen uit het TNO doelfinancieringsonderzoek V1905: 'Toekomstige C2 systemen voor JIMP en flows' zoals dat de afgelopen vier jaar door TNO is uitgevoerd in opdracht van Defensie. Daarnaast stippen de auteurs het opvolgende doelfinancieringsonderzoek aan, V2310: 'Toekomstige C2 systemen voor *Multi Domain Operations* in het statische en ontplooiende domein' dat dit jaar is gestart. In een eerdere editie (nummer 52.1 informatiegestuurd optreden in het mobiele domein van Hans van der Pol en Arjen Holtzer,) van *Intercom* is een artikel opgenomen over het complementaire onderzoek (V2311) dat het uitgestegen en mobiele domein betreft. Met dit programma wordt nauw samengewerkt. Voor de volledigheid vermelden we dat de opgeleverde rapporten op aanvraag beschikbaar zijn voor defensie- en TNO medewerkers.

Nieuwe vormen van optreden, nieuwe vormen van ondersteuning voor commandovoering

Het effectief en efficiënt optreden in moderne, hybride conflicten en de daarvoor noodzakelijke samenwerking met tal van partijen in zowel de publieke als militaire sfeer vereist dat Defensie haar huidige werkwijze en middelen ter ondersteuning van de commandovoering (C2, *Command and Control*) vernieuwt. Twee aspecten vallen hierbij in het bijzonder op. Ten eerste richt de huidige beslissingsondersteuning op dit gebied zich voornamelijk op de traditionele militaire operaties in de fysieke deelopgeving, waarbij men voornamelijk een (digitale) geografische kaart gebruikt. Positie gerelateerde gegevens zijn daarmee dan direct ook de belangrijkste dimensie van informatie die kan worden weergegeven. Echter, huidige conflicten hebben juist een hybride karakter. Naast de fysieke deelopgeving spelen deze conflicten zich

net zo goed, of zelfs voornamelijk, af in de menselijke- en informatie deelopgevingen die niet direct aan geografische dimensies gebonden hoeven te zijn. Systemen voor beslissingsondersteuning dienen daarom ook met deze andere deelopgevingen om te kunnen gaan. Ten tweede spelen in deze hybride conflicten naast militaire partijen, ook niet militaire partijen een grote rol, zeker bij commandovoering in (nog)niet-oorlogssituaties of humanitaire ondersteuning bij onder meer rampen. Militaire systemen dienen daarom ook soepel samen te kunnen werken met civiele systemen om ook in dit soort situaties de beslissingsondersteuning effectief en efficiënt te maken. Ondersteunende systemen voor defensieoperaties zullen daarom dan ook ingericht moeten zijn voor het werken met zowel fysieke, menselijke als informatieomgevingen en daarbij informatieverzameling en -verwerking in een bredere context van samenwerkende partijen beschouwen.



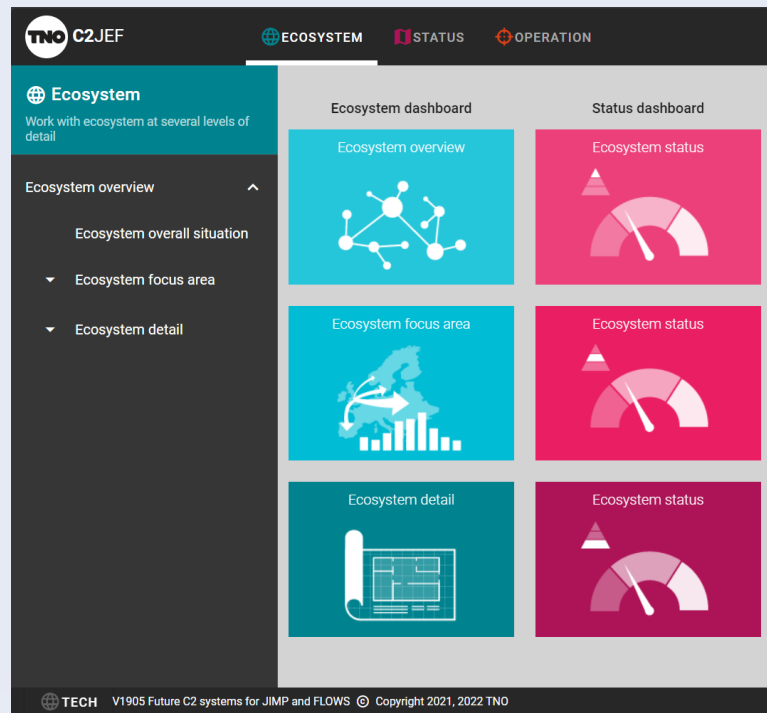
Effectieve besluitvorming draait om goede informatie

Informatie is, als basis voor effectieve besluitvorming, van prominent belang voor het slagen van een missie. Door de steeds toenemende rol van technologie en digitalisering in vrijwel alle aspecten in onze maatschappij kan deze informatie worden vergaard uit een toenemend aantal data- en informatiebronnen van zowel militaire als niet-militaire aard. Zo kan bijvoorbeeld bij een optreden in een stedelijk gebied gebruik worden gemaakt van de overvloed van publieke en private civiele sensoren en communicatiemiddelen die daar al aanwezig en actief zijn. Tegenover deze overvloed aan informatie staat echter ook een groot aantal situaties waarin de militair het juist moet stellen met heel weinig informatie. Denk bijvoorbeeld aan operaties in dunbevolkt ruraal gebied of bij verholde operaties waarbij specifiek wordt gekozen om slechts zeer beperkte communicatiemiddelen in te zetten. Nieuwe informatietechnologie en steeds krachtiger wordende rekenhardware maken het mogelijk om in deze situaties, steeds dichterbij de commandant, gerichte adviesfuncties in te richten die gebruik maken van slimme algoritmes, simulatie, AI, big-data en small-data analyse. Te denken valt aan parallelle planning, real time feedback van status en resultaten en het aanbieden van alternatieven doormiddel van simulatie waardoor het voorspellend vermogen toeneemt. Tevens kan de verantwoordingsfunctie (*accountability*) verbeteren door complete registratie in de gegeven context.

Met de juiste toepassing van deze moderne technologie kan een kwalitatieve of temporale voorsprong ontstaan ten opzichte van de tegenstander als deze dit soort middelen niet tot zijn beschikking heeft. Het verwerven van een superieure positie is hier cruciaal voor Defensie. Het verzamelen en analyseren van hoogwaardige informatie is daarom een directe facilitering van superieure besluitvorming.

Razendsnelle ontwikkelingen in de civiele informatietechnologie

Ontwikkelingen in de wereld van de civiele informatietechnologie versnellen exponentieel en zijn nauwelijks bij te houden door de defensieorganisatie in zijn huidige vorm en inrichting. Het is daarom noodzakelijk om deze ontwikkelingen niet roekeloos, maar gericht en handig te omarmen waarbij vanuit een 360 gradenbeeld de voor defensie juiste keuzes worden gemaakt om moderne beslissingsondersteuning te realiseren. Om alle vormen van inzet te ondersteunen is behoefte aan een adequate mix van systemen die onder meer flexibel, interoperabel, betaalbaar, beveiligd en eenvoudig te beheren is. Deze mix dient te zijn gebaseerd op een combinatie van zowel militaire- als civiele technologie, waarbij de inzet van civiele technologie onder meer noodzakelijk is om de achterstand op de (irreguliere) tegenstander te dichten. Vanzelfsprekend blijft militaire technologie – en dat mag niet uit het oog worden verloren - onverminderd noodzakelijk om een beslissend overwicht te behouden, met name in het hoge geweldsspectrum. De vele lessen die nu in de oorlogssituatie in Oekraïne en andere brandhaarden ge-



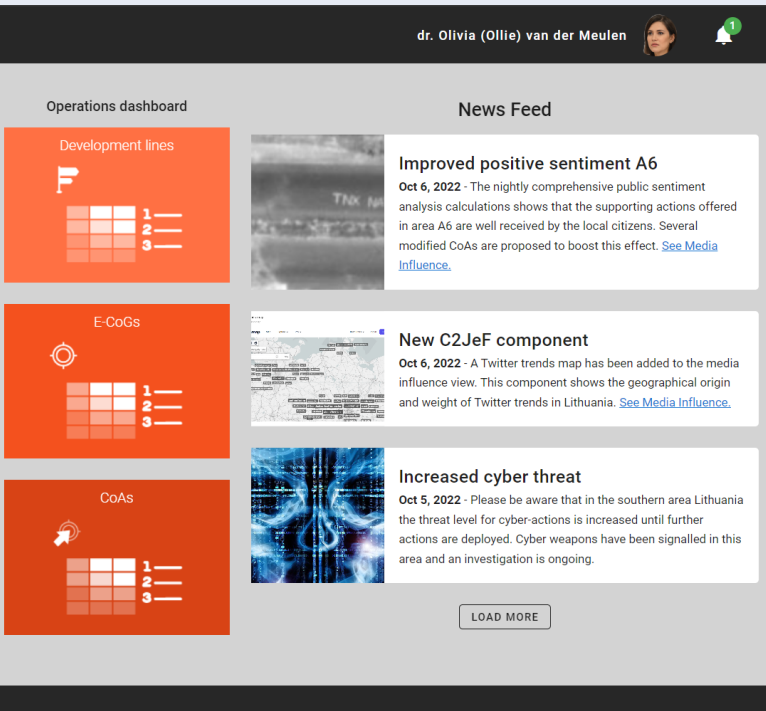
leerd worden laten dit overduidelijk zien. Het is nu zaak het volledige potentieel aan denkkracht te mobiliseren bij kennisinstututen, industrie en defensie.

Perspectieven op de oplossing: werken onder architectuur

Bovengenoemde ontwikkelingen moeten worden ingepast in de defensieorganisatie, -doctrine en -procedures om onderdeel te kunnen zijn van het militaire optreden. Dit vraagt een samenhangende aanpak die, ondanks omvang en complexiteit van de ontwikkelingen, op korte termijn zichtbaar resultaat brengt zonder daarbij ontwikkelingen op de langere termijn uit het oog te verliezen.

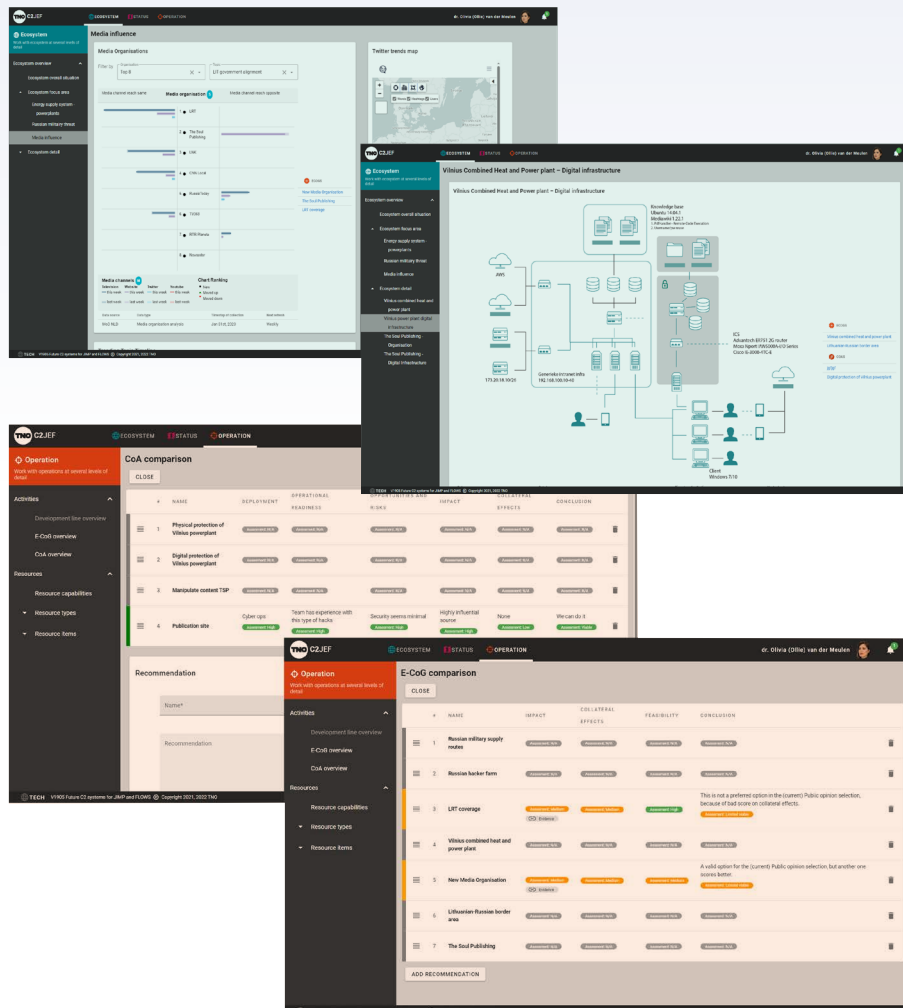
Het is echter niet eenvoudig deze complexe en dynamische omgeving met onderling afhankelijke en samenhangende aspecten op een eenvoudige en eenduidige manier te beschrijven en te analyseren. Dit geldt evenzeer voor het bepalen en ontwikkelen van mogelijke oplossingen voor beslissingsondersteuning. Een manier van aanpak is het inzetten van 'werken onder architectuur', waarbij er steeds vanuit een specifieke 'richting' of 'perspectief' naar het probleem en de oplossing wordt gekeken. Deze perspectieven samen schetsen dan uiteindelijk een beeld van de architectuur van het probleem en de mogelijke oplossingen. In de volgende paragrafen wordt het uitgevoerde onderzoek beschreven vanuit drie van deze perspectieven: het perspectief van de eindgebruiker, het perspectief van de informatie- en applicatiearchitectuur en het perspectief van de techniek. Architectuur is hierbij dus een hulpmiddel ter vergroting van het inzicht vanuit meerdere gezichtspunten en dient hier dus niet als voorgeschreven recept voor inrichting volgens een bepaald model.

Een uitgangspunt is dat in de toekomst de gebruiker van een beslissingsondersteunend systeem behoefte zal hebben aan



👤 Het door TNO ontwikkelde demonstratie MDO C2 systeem C2JeF geeft beslissingsondersteuning in multi-domeinoptreden.

🔗 (links) Het vastleggen van aangrijpingspunten in het publieke sentiment ten behoeve van een desinformatiecampagne. (rechts) Het aangeven van mogelijke handelingsperspectieven in een netwerktopologie.



specifieke extra functionaliteit om in de nieuwe, hybride omgeving te kunnen opereren. Deze extra functionaliteit geeft verbeterd inzicht in mogelijke aangrijpingspunten en handelingsperspectieven en ondersteunt het nemen van beslissingen bij het optreden waar actie en effect zowel plaatsvinden als doorwerken in meerdere omgevingen. In het kader van het door TNO uitgevoerde onderzoek zijn eisen, wensen en randvoorwaarden opgesteld en beschreven voor deze klasse van systemen en zijn een aantal concepten ter toetsing en validatie in een demonstrator (C2JeF – C2 voor JIMP en flows) geïmplementeerd. Deze concepten ondersteunen inzicht en besluitvorming in een dynamische en onzekere situatie.

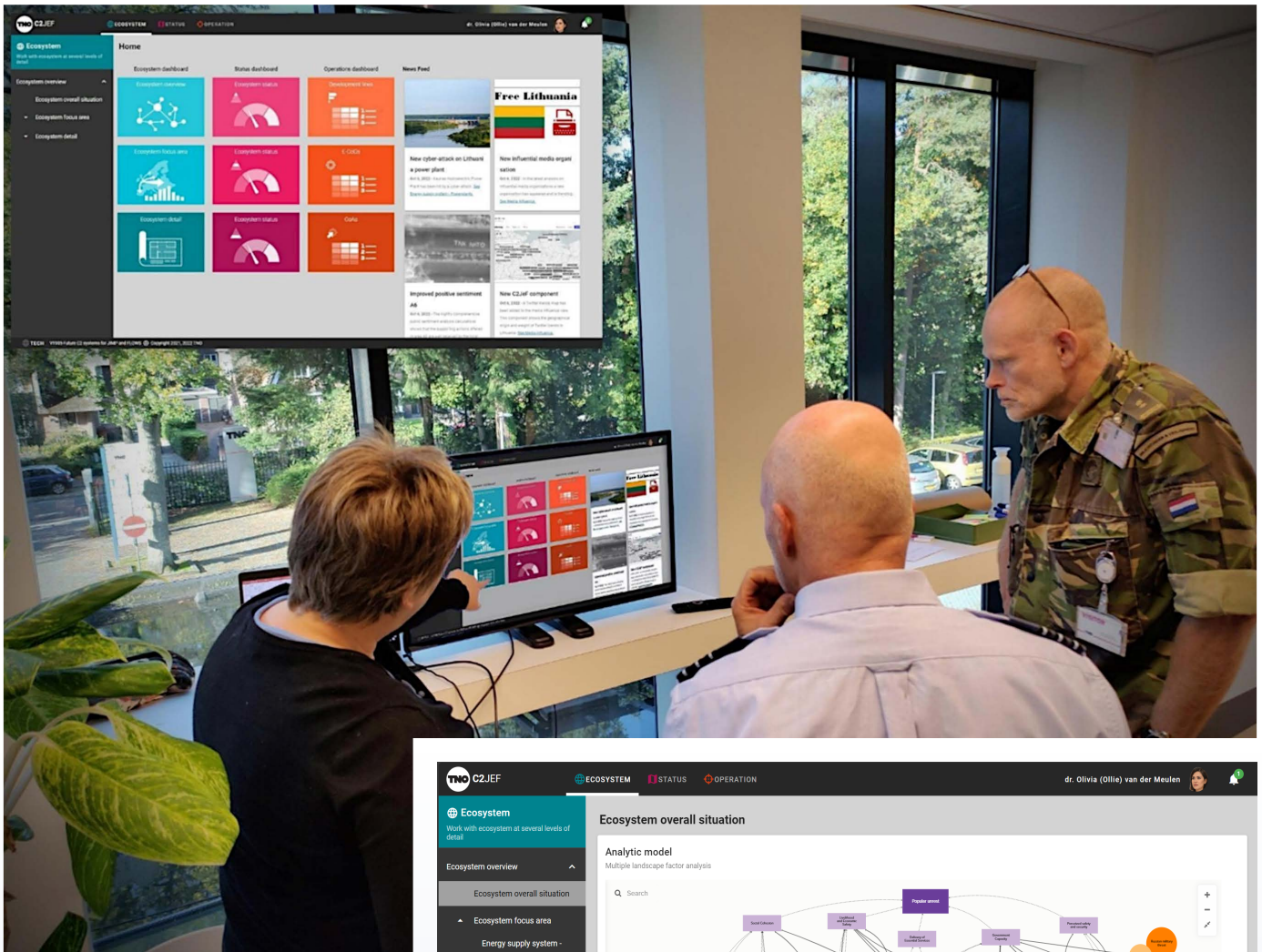
Ondersteunen en verbreden van inzicht en besluitvorming.

Binnen het onderzoek zijn concepten ontwikkeld waarmee de gebruiker van een C2 systeem de hybride operatieomgeving integraal kan analyseren om te komen tot voldoende inzicht in de missie en de mogelijke aangrijpings- en interventiepunten in de diverse landschappen. De traditionele aanpak met geografisch kaartmateriaal als enige optie is hierbij losgelaten. Er is gekozen voor een holistische weergave als uitgangspunt, waarbij de gebruiker afhankelijk van zijn interesse, in meerdere niveaus van detail, kan kiezen voor diverse vormen van weergave van de informatie die hij bestudeert. Dit kan natuurlijk traditioneel kaartmateriaal zijn, maar grafieken, tabellen, netwerkdiagrammen en topologieën kunnen gebruikt worden om mogelijke aangrijpingspunten aan te wijzen, te documenteren en vast

te leggen. Een voorbeeld hiervan is het aangeven van aangrijpingspunten voor een cyberaanval in een netwerk domein. De aangrijpingspunten zijn netwerkknodes waarbij de geografische locatie niet van belang is. Een ander voorbeeld is het vastleggen van een aspect van het publieke sentiment als aangrijpingspunt voor een mogelijke desinformatiecampagne als handelingsperspectief. Ook hier geldt dat dit aangrijpingspunt moeilijk op een geografische kaart vast te leggen is.

De afweging van de mogelijke alternatieve inzetopties wordt ondersteund door op een ‘multi-criteria’ kosten-baten manier de effort, de haalbaarheid en het verwachte effect (positief en negatief) van het aangrijpen van aangrijpingspunten inzichtelijk te maken.

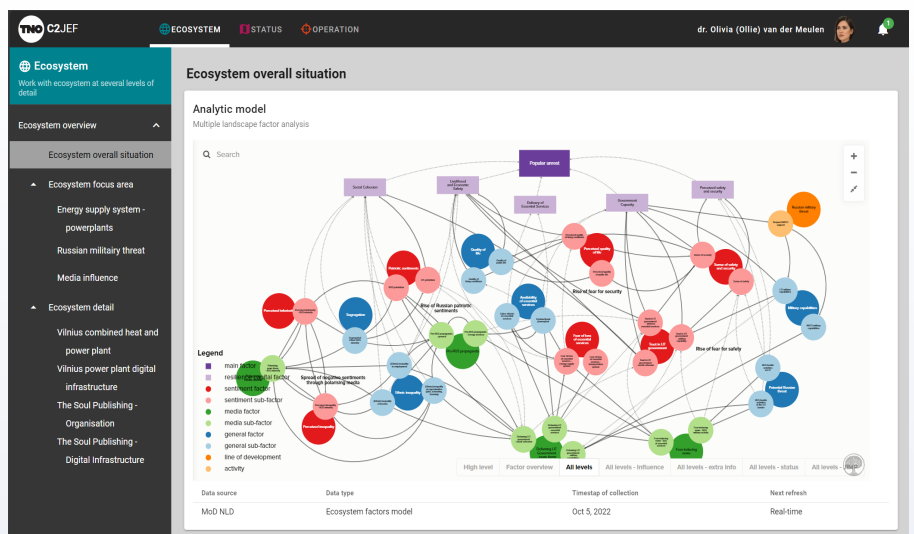
👉 Het evalueren van handelingsperspectieven en aangrijpingspunten.



👤 *Interactieve gebruikerssessie in samenwerking met de OPCO's.*

👁️ *Overzicht van het ecosysteem voor de missie*

Om de gewenste handelingsperspectieven daadwerkelijk te realiseren is het belangrijk de beschikbare middelen zo optimaal mogelijk optimaal in te zetten. Belangrijk nieuw aspect in dit deel van de C2 ondersteuning is het optreden in meerdere (deel)omgevingen (fysiek, informatie, menselijk) en de ondersteuning van samenwerking in JIMP-verband. Hiertoe is een analytisch model ontwikkeld waarin de operatieomgeving als een ecosysteem wordt gezien en waarbinnen zaken in samenhang bekeken moeten worden. Dit analytisch model geeft de belangrijkste *Resilience capital* factoren weer, met indicatoren om de 'status' van het ecosysteem en het succes van de missie te kunnen meten. Op verschillende abstractieniveaus bevat het analytisch model onderliggende (sub)factoren in de drie (deel)omgevingen (fysiek, menselijk, informatie) en de onderlinge relaties tussen die (sub)factoren. Ten behoeve van JIMP-samenwerking kan ook worden aangegeven welke factoren binnen het mandaat en de mogelijkheden van de verschillende partijen vallen.



Omgaan met onzekerheid en dynamiek.

Naast het verbreden van inzicht en besluitvorming is ten tweede ondersteuning nodig bij het nemen van beslissingen op basis van onvolledige en snel veranderende informatie. Hoe kun je de voortdurend veranderende status en voortgang van een operatie monitoren op basis van 'eigen' uitvoeringsinformatie, maar tegelijkertijd ook op basis van nieuw binnenkomende informatie? Hoe kun je op basis hiervan inschatten wat de reikwijdte is van nieuwe informatie en/of afwijkingen in de verwachte status en voortgang: blijven de gekozen aangrijpingspunten en handelingsperspectieven geldig of moet er 'koerswijziging' plaatsvinden? Dit zijn vragen die in een aansluitend opvolgonderzoek momenteel door TNO worden uitgewerkt.

De binnen het gebruikersperspectief ontwikkelde concepten zijn met behulp van de C2JeF *demonstrator* in diverse sessies getoetst bij stakeholders (OPCO-vertegenwoordigers) van Defensie. Bij deze toetsingen toonden de stakeholders van Defensie zich enthousiast over de voorlopige resultaten en gaven ze aan groot belang te hechten aan het doorgaan met deze ontwikkeling.

Wat verandert er voor besluitvormingsondersteunende applicaties en -informatiesystemen?

Naast de zojuist beschreven veranderingen gezien vanuit het perspectief van de eindgebruiker zal ook vanuit het perspectief van de applicaties een andere, en flexibeler, architectuur ingezet moeten worden. Deze architectuur zal met een complexer informatiemodel en grotere hoeveelheden data om moeten kunnen gaan en zal in staat moeten zijn om snel genoeg te kunnen reageren in de dynamische omgeving. In het onderzoek zijn de componenten van een architectuur die de gewenste beslissingsondersteuningsfunctionaliteit mogelijk maakt in dit perspectief uitgewerkt, verdiept en samenhangend beschreven. Hierbij zijn drie architecturale uitgangspunten bepaald: ten eerste is de architectuur 'data centrisch'. Dit betekent dat data centraal staat in het systeem en niet de applicatie. Data wordt

kader van grootheden, begrippen en hun relaties om elkaar daadwerkelijk te kunnen begrijpen. Zo zullen services bijvoorbeeld een gemeenschappelijk begrip moeten hebben van aangrijpingspunten, effecten en handelingsperspectieven om hier zinvol over samen te kunnen werken.

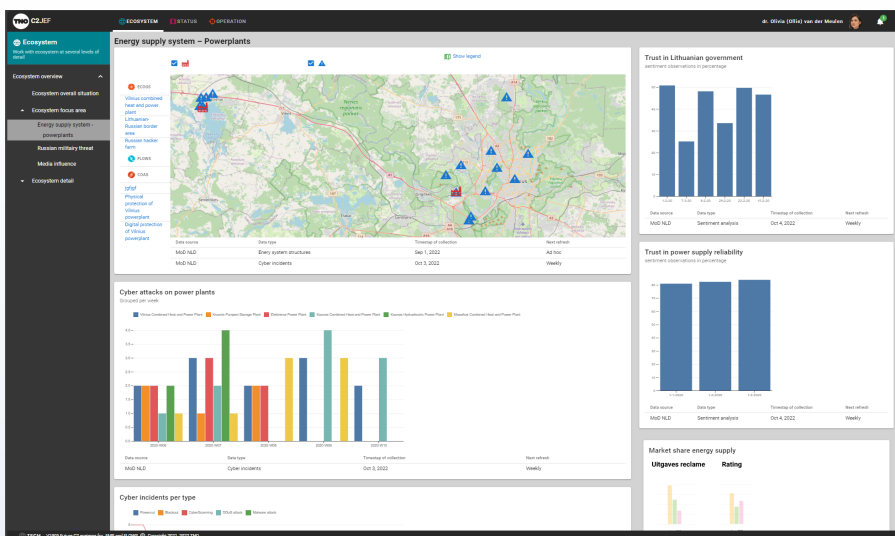
In de studie zijn deze uitgangspunten uitgewerkt en verdiept met kennis over performance, schaalbaarheid en distributie, met name op het gebied van de data laag in de architectuur en de te maken keuzen in consistentie versus beschikbaarheid van data in geval van verwachte of onverwachte partitionering van het systeem. Het voor de functionaliteit benodigde domeinmodel is geïmplementeerd in de C2JeF *demonstrator* waarbij gekeken is naar bestaande en opkomende inzet en relevante standaarden in de industrie, onderzoeksinstituten en defensie op nationaal en internationaal niveau. Er zijn modulaire componenten en gedistribueerde services ontwikkeld die aan de hand van informatievraag aan het kennismodel de benodigde databronnen raadplegen, de gegevens verwerken, samenvoegen en aan de gebruiker beschikbaar stellen of visualiseren. Er is onderzocht welke applicatiearchitectuurpatronen hiervoor ingezet zouden kunnen worden, hierbij zijn bestaande moderne architectuurpatronen met betrekking tot agility, distributed applicaties, containerization, clustering en

orchestratie, *DevSecOps*, *open source*, *security*, lifecyclebeheer- en management opgenomen. Er is tevens gekeken hoe deze aansluiten bij initiatieven als onder meer het Amerikaanse '*Software is never done*' (*US Defence innovation Board*, 2019) en het Nederlandse '*Defensie Duurzaam Digitaal*' (Defensie, 2021).

Wat verandert er voor de techniek?

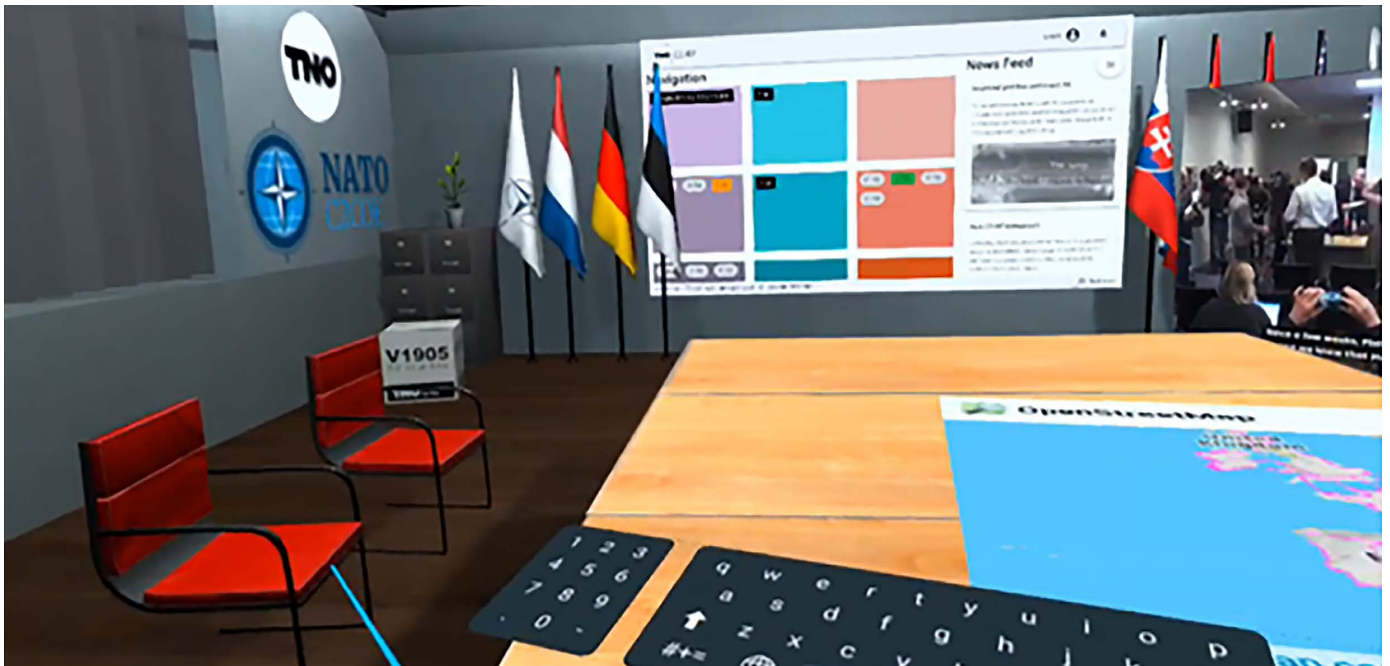
Ondanks dat het onderzoek zich richt op toekomstige systemen, is er ook onderzoek gedaan naar de mogelijkheden die huidige, al bestaande technologie kan bieden. Dit is het perspectief van de huidige techniek op de architectuur. Er is onderzocht in hoeverre de gewenste architectuurbouwblokken zouden kunnen worden gerealiseerd met bestaande

technieken en technologie. Deze onderzoeksresultaten laten zien dat de eerste proof-of-concept technische architecturen daadwerkelijk te realiseren zijn in de vereenvoudigde lab setting. Een groot aantal technieken, veelal gebaseerd op open-source is hierbij ingezet, waaronder bijvoorbeeld Linux, java, JavaScript, Vue, Python, Docker, Kubernetes, XML, JSON, MySQL, GitLab CI/CD en aanpandende webtechnologie. Of deze in een bredere Defensiespecifieke C2 infrastructuur met meerdere services en reeds bestaande C2 systemen ook blijven functioneren, is onderdeel van toekomstig onderzoek.



i Een modulaire applicatiearchitectuur waarin databronnen kunnen worden gecombineerd en op diverse manieren kunnen worden gevisualiseerd, waarbij de data afkomstig is van een gedistribueerd netwerk van informatieservices.

onafhankelijk van de applicatie opgeslagen en kan door meerdere applicaties worden gebruikt. Dit in tegenstelling tot een applicatiecentrische architectuur waarbij elke applicatie zijn eigen data vergaart, verwerkt en opslaat. Ten tweede is de architectuur 'servicegeorieerd'. Dit wil zeggen dat de functionaliteit in het systeem wordt geboden door losstaande services die met elkaar samenwerken via servicecontracten zodat een modulaire opbouw ontstaat. Op de derde plaats is de architectuur 'domeinkennis-gedreven'. Dit wil zeggen dat de services gebruik maken van een gemeenschappelijk, gedeeld begrippen-



De C2JeF experimentele demonstrator in de NATO C2COE VR applicatie.

Toetsing, validatie en experimenten

Zowel de gebruikersfunctionaliteit als de applicatiearchitectuur is met bestaande technologie gedeeltelijk geïmplementeerd en gedeeltelijk gesimuleerd in een *demonstrator*. Met deze *demonstrator* kunnen experimenten met én zonder eindgebruikers worden uitgevoerd om te beproeven welke methoden/technologieën geschikt zijn om invulling te geven aan gewenste C2 functionaliteiten. De kernvragen hier zijn op welke manier functionaliteit, algoritmen en modellen, en data gedeeld kunnen worden zodat deze interoperabel zijn en goed beheerd kunnen worden. Hiertoe zijn simulaties van operationele scenario's ingericht om datastromen te genereren. Ervaringen vanuit deze losse technische evaluaties worden gecombineerd met elkaar en met de inzichten uit de C2JeF evaluatie met eindgebruikers. Enkele producten van deze experimenten zijn op NATO CWIX gedemonstreerd in samenwerking met de innovatieafdeling KIXS van JIVC. Ook is de *demonstrator* getoond op de jaarlijkse bijeenkomst van de Nederlandse kennisinstellingen; *Innovation in Defence* en op een C4ISR event in Stroe.

In 2020 is in samenwerking met het NATO C2COE (*C2 Centre of Excellence*) een integratie gedemonstreerd met de NATO virtual reality C2 applicatie. De C2JeF demonstratiesoftware is hierbij geïntegreerd in de NATO C2COE virtual realityomgeving zodat deze in een virtueel commandocentrum met een VR bril bediend kon worden.

1. Conclusie en vervolgonderzoek

Het onderzoeksprogramma naar toekomstige C2 systemen heeft de afgelopen vier jaar een schat van kennis en innovatie opgeleverd op het terrein van C2- en besluitvormingsondersteuning en de daarbij behorende doel-architectuur (als raamwerk voor hoe het zou kunnen worden) en technologie, resulterend in de borging, maar ook disseminatie, van opgedane kennis in tientallen rapporten, publicaties en presentaties. Het geeft een beeld van, maar ook een duidelijk advies op, de richting die ingezet moet worden om de C2 van Defensie klaar te maken voor de toekomst. Tevens heeft het programma geleid tot voldoende kennis om te kunnen dienen als platform voor vervolgonderzoek. Dit vervolgonderzoek zal worden gedaan in het TNO onderzoeksprogramma V2310: 'C2 voor IGO in het statische en ontplooi domein'. In dit nieuwe programma zal worden ingegaan op de invulling van C2 systemen die zijn voorbereid op de ambitie van Defensie een informatie gestuurde organisatie te worden:

rend in de borging, maar ook disseminatie, van opgedane kennis in tientallen rapporten, publicaties en presentaties. Het geeft een beeld van, maar ook een duidelijk advies op, de richting die ingezet moet worden om de C2 van Defensie klaar te maken voor de toekomst. Tevens heeft het programma geleid tot voldoende kennis om te kunnen dienen als platform voor vervolgonderzoek. Dit vervolgonderzoek zal worden gedaan in het TNO onderzoeksprogramma V2310: 'C2 voor IGO in het statische en ontplooi domein'. In dit nieuwe programma zal worden ingegaan op de invulling van C2 systemen die zijn voorbereid op de ambitie van Defensie een informatie gestuurde organisatie te worden:

- Waarin een enorme toename van het aantal (open) databronnen en sensoren een stortvloed aan data oplevert. Ontsluiting hiervan naar een gebruiker kan al snel leiden tot informatie overload. Intelligente C2-systemen kunnen helpen uit de grote hoeveelheid data de juiste informatie te verkrijgen, maar hebben alleen operationele meerwaarde als deze tijdig de juiste bijpassende C2 functionaliteit bieden. Omdat de huidige systemen te kort schieten kunnen de ambities van IGO niet waargemaakt worden.
- De recent beschreven defensie visie op IGO en de uitwerking hiervan in Mogelijke Toekomstige wijzen van Optreden (MTO's) geven geen duidelijke theoretische ontwerpkeuzes waarmee Defensie in de toekomst zelf heldere operationaliseringsstappen zou kunnen nemen. Kennisopbouw is benodigd om inzicht te krijgen welke C2 ondersteuning nodig is bij nieuwe vormen van optreden zoals MDO, *dispersed* optreden, decentrale aansturing of zelfsturing. Hieruit kan defensie zelf conclusies voor ontwikkeling van plannen en opdrachten in het C2 domein trekken zodat Commandanten in staat kunnen worden gesteld de geambieerde effecten te realiseren.