

Professor Dr. Wolfgang Koch  
Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung  
und Ergonomie FKIE, Fellow des IEEE

# FCAS – Herausforderungen für Sensordatenfusion und Ressourcenmanagement

**K**onflikte werden künftig automatisierter ausgetragen als je zuvor. Im Rahmen des Future Combat Air System FCAS sollen unbemannte, künstlich intelligente und technisch autonome Luftfahrzeuge bemannte Kampffjets neuester Generation als loyale wingmen begleiten. Bei Angriffen schützen sie den Piloten und lenken von ihm ab. In Kampfmissionen fliegen sie als Remote Carrier weit voraus, klären koordiniert auf und bekämpfen gegnerische Ziele. Auch andere Komponenten der Luftverteidigung werden durch FCAS als System of Systems vernetzt: der EUROFIGHTER, die Militärtransporter, Lenkflugkörper oder AWACS. Damit ist klar, dass Künstliche Intelligenz und Technische Autonomie bei FCAS eine Schlüsselrolle spielen müssen. Bei der

Entwicklung von FCAS geht es also ganz zentral auch um hochleistungsfähige Algorithmen der Sensordatenfusion und des Ressourcenmanagements. Durch Künstliche Intelligenz (KI) werden Sensordaten und Wissensbasen fusioniert. Technische Autonomie automatisiert dagegen Wirkungsketten, steuert Sensoren, Plattformen, Wirkmittel durch adaptives Ressourcenmanagement. So entstehen „kognitive Maschinen“, die natürliche Fähigkeiten zur Wahrnehmung und Wirkung ebenso steigern wie mechanische Werkzeuge die Körperkraft.

## Künstliche Intelligenz, Technische Autonomie

Offenbar besitzt dieser Maschinenbau zugleich gewaltiges wirtschaftliches Potential, profitiert von Trends wie Vernetzung, Mobilität, Sensor- und Datenbanktechnologie und schafft die Basis für Manned/Unmanned Teaming MUM-T. Daher wird FCAS auch von zivilen Entwicklungen profitieren. Umgekehrt soll FCAS die europäische Spitzentechnologie vorantreiben. „Wer in diesem Bereich die Führung übernimmt, wird Herrscher der Welt“ (Wladimir Putin).

- Für FCAS zentral ist kognitive Assistenz, um
- massenhaft einströmende Sensordaten auszuwerten,
  - komplexes Kontextwissen mit aktuellen Daten zu verknüpfen,
  - sich ergänzende und verschiedenartige Sensoren zu verknüpfen,
  - die Plausibilität der gewonnenen Information abzuschätzen,

Künstliche Intelligenz und Technische Autonomie: Schlüsseltechnologie für FCAS.

### KI-basierte Assistenz:

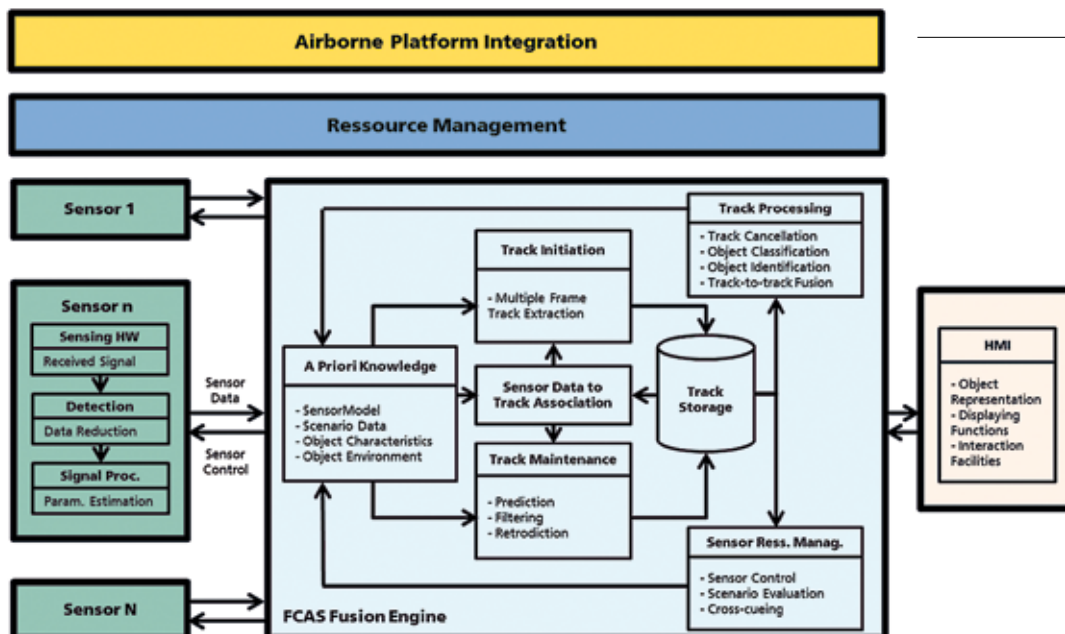
→ **gemeinsames, rollenorientiertes Lagebild**

### Voraussetzung für

**führen, aufklären, wirken, schützen.**



Umfasst **sehr viel mehr** als nur Durchbrüche bei neuronalen Netzen und *machine learning*!



FCAS-Fusion-Engine, von Industrie und Forschung im FCAS-Masterplan entwickelt.

- zielentsprechende Wirkungsoptionen, ggf. basierend auf mobilen und interagierenden Plattformen, anzubieten und dabei
- den ethischen Wirkungsrahmen zu respektieren.

Schließlich sollen sich kognitive Maschinen individuellen Aufgaben und Fähigkeiten ihrer Nutzer anpassen, also Menschen entlasten, damit diese tun können, was nur Menschen können, nämlich tatsächlich intelligent und in verantworteter Autonomie wirken.

Bereits jetzt legt ein Forschungsprojekt Grundlagen und zeigt, wie koordiniert interagierende Bodenroboter und Multisensordrohnen Soldaten durch umfassende Lagebilder unterstützen. So werden etwa getarnte Scharfschützen durch Fusion räumlich verteilter akustischer und multispektraler Sensorik lokalisiert, denen die Soldaten sonst ausgeliefert wären, das Kaliber verschossener Munition klassifiziert und Funkverbindungen aufgeklärt und Sender lokalisiert, über die gegnerische Kräfte kommunizieren. Ein weiteres Projekt betrachtet in urbaner Umgebung einen Konvoi, der durch eine Sprengfalle gestoppt und aus dem Hinterhalt angegriffen wird. Herausfordernd für die Verteidigung sind fehlende Sichtverbindungen zu den Angreifern, ein Nachteil, der durch einen Verbund aus Unmanned Aerial Vehicles UAV ausgeglichen wird. Koordinierter Drohneneinsatz ermöglicht, zu erwartende Kollateralschäden abzuschätzen und verschafft dem Forward Air Controller ein umfassendes Lagebild.

Künstlich intelligente und technisch autonome Systeme unterstützen also intelligentes Wahrnehmen und autonomes Wirken von Personen, die für ihr Handeln verantwortlich sind. Stets bleiben sie ein 'etwas' für jemanden, sind Objekte, keine Subjekte. Der Unterschied zu früheren Umbrüchen liegt also auf einer eher quantita-

tiven Ebene, so dass sich im Grunde zeitlose Fragen stellen:

- Wie bleiben kognitive Maschinen von Menschen beherrschbar?
- Wie ist ihre verantwortbare Nutzung technisch zu ermöglichen?

### Zur Beherrschbarkeit von KI-Algorithmen

Jede verantwortbare Nutzung KI-basierter Systeme setzt meaningful human control voraus. In diesem Sinne schreiben alle Planungsdokumente der Bundeswehr vor, dass jeder Waffeneinsatz von Menschen zu verantworten ist. Welche Probleme werfen die Algorithmen auf, wenn dies gewährleistet werden soll?

Eine Schwachstelle ist Datenintegrität: Sind die Sensor- und Kontextdaten korrekt und entsprechen die stets unvermeidlichen Fehler den Annahmen über sie? Bei verletzter Datenintegrität wird aus Datenfusion leicht Konfusion. Zudem erzeugen KI-Algorithmen stets auch Artefakte, Dinge, die es in Wirklichkeit nicht gibt, oder weisen „blinde Flecken“ der Wahrnehmung auf, sehen nicht, was es dennoch gibt. Zu nennen ist auch die Cyberbedrohung, die Übernahme von Sensoren oder Subsystemen durch Gegner, die dann „bösaartig“ werden, täuschende Daten liefern oder sich gegen den Nutzer wenden. Zu fordern ist daher von jeder KI sozusagen eine Fähigkeit zur „Selbstkritik“.

Aber auch die Nutzer müssen Künstlicher Intelligenz gegenüber kritikfähig bleiben. Sonst entsteht die Gefahr freiwilliger Unterordnung und kritikloser Akzeptanz der Angebote, die mentale Weigerung, Verantwortung tatsächlich zu tragen, blindes Vertrauen. KI-basierte Systeme müssen die Wachsamkeit ihrer Nutzer trainieren, ihnen ein Tell me why? für Lösungsangebote vermitteln und dürfen sie nicht verdummen. Nur menschl-

Konzeptpapier für eine aktuell entstehende, hochrangig besetzte FCAS-Ethik-Arbeitsgruppe.

März 2019

## Menschliche Verantwortung als Leitgedanke bei einem Future Combat Air System (FCAS)

che Intelligenz vermag Plausibilitäten einzuschätzen, tatsächliches Verständnis entwickeln.

Eine Schlüsselfunktion besitzen modellbasierte Algorithmen. Sie ermöglichen logisches Schließen auch bei unscharfen Ausgangsdaten. Dadurch werden wahrscheinliche Kausalstrukturen aufgedeckt und mögliche Hypothesen quantitativ bewertbar. Zugleich führt Bayesian Learning nicht zu black-boxes, sondern ermöglicht ein systematisches Algorithmen-design, in das Kontextinformation oder Expertenwissen explizit integrierbar ist. Da die Modellierung oft zu komplex ist, bleiben datengetriebene Algorithmen wie deep learning jedoch unverzichtbar. Also liegt es nahe, beide Ansätze zu verknüpfen und nach Explainable Artificial Intelligence AI zu suchen.

Eine rasch wachsende Community befasst sich damit, auch für Neuronale Netze „Unschärfe“ quantitativ darzustellen, stochastische Methoden anzuwenden und probabilistische Qualitätsmaße für ihren Output anzugeben. Eine Einführung bietet ein Sachbuch des Turing-Preisträgers Judea Pearl, der bei seiner Suche nach algorithmischen Antworten auf Warum-Fragen philosophische Aspekte berührt. Was-Fragen führen zum philosophischen Problem qualia, des subjektiven Erlebnisgehalts. Maschinen kennen kein Was.

Viele Forschungsfragen sind noch unbeantwortet. Dennoch sind Zertifizierung und Zulassung bereits jetzt gefordert. Robuste und prak-

### Was ist FCAS?

2017 haben sich die **deutsche und französische Regierung darauf verständigt, gemeinsam ein „Future Combat Air System“ (FCAS) zu entwickeln**. Dieses Vorhaben wurde im Rahmen der deutsch-französischen Regierungskonsultationen 2018 bekräftigt. Seither wurden in Form nationaler Konzeptstudien erste technische Spezifikationen eines solchen Luftkampfsystems der Zukunft formuliert.

Anders als bestehende Luftkampfsysteme wie Tornado, Eurofighter oder Rafale wird FCAS deutlich mehr sein als „nur“ ein Kampfflugzeug. Wenngleich das Flugzeug die wesentlichste Plattformneuentwicklung ist, wird es Bestandteil eines komplexen, vernetzten Gesamtsystems sein, bestehend aus zahlreichen Einzelkomponenten, die je nach Einsatzszenario sowohl im Verbund

als auch für sich genommen agieren können. Ein solcher Ansatz erhöht nicht nur die Effektivität, sondern ermöglicht auch eine hohe Kompatibilität mit den Strukturen der NATO und der vieler anderer europäischer Partnerationen. Durch die offene Systemarchitektur können zudem bestehende Plattformen wie Eurofighter oder A400M Bestandteil von FCAS werden.

Die Integration dieser zum Teil bemannten, zum Teil unbemannten Komponenten zu einem kohärenten sowie interagierenden Gesamtverbund erfolgt über ein **System-of-Systems (SoS)**. Zudem sind sämtliche im Systemverbund integrierten Plattformen über ein **Combat Cloud Ecosystem (CCE)** miteinander verknüpft, wodurch alle relevanten Informationen für die an einer Mission beteiligten Akteure in Echtzeit verfügbar sind.

### Stärkung der deutschen Wissenschafts- und Forschungslandschaft

Für die europäische militärische Luftfahrt bedeutet FCAS einen **technologischen Quantensprung**. Wobei der Einsatz vernetzter Systeme in globaler Perspektive längst kein Novum mehr ist, sondern zunehmend die Regel.

Im Rahmen der **Aufteilung der industriellen Zuständigkeiten** wurde seitens der deutschen und französischen Regierung entschieden, die Verantwortung für die Entwicklung des Next Generation Fighter (NGF) bei Dassault zu verorten, während Airbus Defence and Space fe-

derführend die Entwicklung und Integration der Gesamtarchitektur (SoS/CCE) sowie der das Kampfflugzeug begleitenden unbemannten Komponenten (Remote Carrier, RC) übernimmt. Da **wichtige Zukunftstechnologien** wie Künstliche Intelligenz (KI), Big Data Analytics, Krypto-Technologien oder Mensch-Maschine-Interaktion als zentrale Enabler einer SoS/CCE-Gesamtarchitektur fungieren, bedeutet dies nicht zuletzt eine **Stärkung des Wissenschafts- und Forschungsstandorts Deutschland**.

### Ethische und völkerrechtliche Aspekte

Der Einsatz neuer Technologien zieht stets auch **Fragen ethischer Natur** nach sich. Das gilt für nahezu alle Bereiche, besonders aber natürlich für Sicherheits- und Verteidigungstechnologien, deren Einsatz naturgemäß einer besonderen Sensibilität unterliegt und obendrein auch aus **völkerrechtlicher Perspektive** relevant ist.

Im Zentrum eines FCAS wird auch **weiterhin die bemannte Komponente (NGF)** stehen. Dies wurde von der Politik eindeutig so entschieden und ist Ausgangs-

punkt für sämtliche weitergehende technologische und strategische Planungen. Dahinter steckt die Prämisse, dass die rationale menschliche Entscheidung Dreh- und Angelpunkt in allen denkbaren FCAS-Missionsszenarien ist. In anderen Worten, für FCAS gilt, was in der Militärischen Luftfahrtstrategie 2016 des BMVg bereits für unbemannte Luftfahrzeuge festgeschrieben wurde: „ein **Waffeneinsatz [erfolgt] ausschließlich unter der Kontrolle des Menschen**“.

tisch nutzbare KI-Systeme werden sowohl datengetriebene als auch modellbasierte Algorithmen umfassen. Um die Leistungsfähigkeit des deep learning zu nutzen und ihre Probleme einzudämmen (greedy, brittle, opaque), nutzt man das Prinzip AI in the Box. Systemisch werden datengetriebene Algorithmen so durch modellbasiertes Reasoning „eingehegt“. Nachzuweisen sind vorhersagbare Systemeigenschaften, Insensitivität gegenüber unbekanntem Einflüssen, Adap-

Tatsächlich schafft eine SoS/CCE-Gesamtarchitektur die Voraussetzung dafür, komplexe und unübersichtliche militärische Einsatzszenarien der Zukunft so zu erfassen, dass eine vom Menschen verantwortete Entscheidung überhaupt erst ermöglicht wird. Grundlage dafür ist ein **kohärentes, umfassendes Lagebewusstsein** sämtlicher an einer Mission beteiligten Akteure. Die **technologische Reduktion von realer Komplexität** ist demnach eine **zentrale Komponente eines SoS/CCE-Ansatzes**.

Gerade die Entwicklung einer **multisensoriell ausgelegten SoS/CCE-Architektur im Rahmen von FCAS ermöglicht es** somit, die **Anforderungen zu erfüllen, die als „ius in bello“ (das Recht im Krieg) im Kriegsvölkerrecht festgelegt** sind:

- **Diskrimination:** Waffenwirkung nur gegen Kombattanten, wodurch eine lückenlose Erfassung erforderlich wird;
- **Verhältnismäßigkeit:** Wahl bedrohungsadäquater Wirkmittel auf Grundlage einer „Pre-engagement collateral damage prediction“;
- **Vorsorge:** Vorrang der unsicheren Prognose gegenüber der vermeintlich sicheren;
- **Zurechenbarkeit:** „meaningful human control“.

Hinzu kommt die durch ein solches System prinzipiell unterstützte Rechtssicherheit der verantwortenden Entscheider durch transparente Handlungsoptionen und umfassende Einsatzdokumentation. Einen ersten Eindruck

## Gestaltung des Dialogs zu ethischen Fragen im Rahmen von FCAS

Dieser Prozess erfolgt im konkreten Fall des FCAS im engen **Dialog zwischen den beteiligten Akteuren aus Politik, Unternehmen sowie Wissenschaft und Forschung**. Er ist eingebettet in einen gesamtgesellschaftlichen Diskurs, der bereits begonnen hat und der uns in den kommenden Jahren begleiten wird. Als Plattform für den Austausch fungiert eine **Arbeitsgruppe**, welche von

hiervon kann man bereits heute im **Airbus Defence and Space FCAS-Lab in Manching** gewinnen, wo unter **Einsatzbedingungen und in Echtzeit der strukturierte Daten- und Informationsfluss** für die im Einsatz befindlichen Pilotinnen und Piloten **simuliert** wird.

Die Entwicklung eines FCAS bedeutet besondere **technologische Herausforderungen**, insbesondere bei der **Software** und der **Sicherheit gegenüber Cyber- und elektronischen Attacken** sowie bei **Angriffen durch sogenannte „Autonomous Weapon Systems“ (AWS)**, welche in Zukunft von feindlichen Staaten vermehrt eingesetzt werden dürften. Um auf derlei Gefahren angemessen und schnell reagieren zu können, kann es erforderlich sein, den Autonomiegrad von **Waffensystemen im Hinblick auf menschliche Reaktionszeiten sowie die spezifische Bedrohung** entsprechend zu **skalieren**. Auch diesen Anforderungen, welche die Realitäten künftiger Kriegsführung berücksichtigen, muss ein FCAS-Systemdesign Rechnung tragen.

Gleichwohl gilt auch hier, dass **technologische Fähigkeiten und menschliche Entscheidungsfindung nicht getrennt voneinander erfolgen dürfen**. Stattdessen muss **bereits in der technologischen Entwicklungsphase die Prämisse vom unauf löslichen und letztgültigen Kriterium der rationalen menschlichen Entscheidung und Verantwortung** fortlaufend berücksichtigt werden.

**Fraunhofer FKIE und Airbus Defense and Space organisiert und koordiniert** wird und in der Vertreterinnen und Vertreter aus unterschiedlichen Bereichen der Gesellschaft die technologische Entwicklung von FCAS aus u.a. ethischen und völkerrechtlichen Blickwinkeln begleiten werden.

also zu einem Lagebild, auch über unaufgeklärte Aspekte aufzuklären. Insbesondere werden Kollateralschäden auf bisher unerreichte Weise abschätzbar: pre-engagement collateral damage prediction. Dies ist eine technische Voraussetzung für verantworteten Waffeneinsatz bei FCAS.

Entscheidungen zum Waffeneinsatz erfolgen gemäß den Rules-of-Engagement RoE, die bis in das informationstechnische Design zu berücksichtigen sind. So prägen rechtliche, politische, militärstrategische und operative Vorgaben eine kognitive Maschine wie FCAS, die völkerrechtliche Prinzipien des ius in bello, aber auch des International Soft Law technisch konkretisiert – by design. Beispiele sind Diskrimination (Waffeneinsatz nur bei lückenloser Zielerfassung) oder Proportionalität (Wahl bedrohungsadäquater Waffen). Zu nennen sind auch Vorsorge und Zurechenbarkeit, wodurch meaningful human control impliziert wird.

Mut macht die Tatsache,

dass FCAS als erstes wehrtechnisches Großprojekt von Anfang an durch einen kompetent, hochrangig und gesamtgesellschaftlich besetzten Ethikbeirat begleitet wird. So wird öffentlich und transparent ermöglicht, dass ethische und rechtliche Prinzipien sowie der gesellschaftliche sensus communis zu tatsächlich Designprinzipien werden können, die bis zuletzt verantwortetes Wirken im Sinne von human command & machine control ermöglichen. ■

tivität gegenüber variablem Einsatzkontext und graceful degradation, graduelle und beherrschbare Leistungseinbußen beim Ausfall von Komponenten.

### Ethik als ein technisches Designprinzip!

Lagebilder stellen komplexe Abläufe für Menschen fasslich dar. Wesentlich ist die Darstellung verbleibender Ungenauigkeiten, Mehrdeutigkeiten nicht oder noch nicht beantworteter Fragen. Es gehört