

## Positionspapier

### Mehr zivile Sicherheit durch Integration von Kommunikation und Sensorik

Für die Fortschreibung des Rahmenprogramms „Forschung für die zivile Sicherheit“

#### Initiativgruppe

- Prof. Reiner Thomä, Technische Universität Ilmenau, korrespondierender Autor
- Dr. Thomas Dallmann, Fraunhofer FHR
- Prof. Gerhard Fettweis, Technische Universität Dresden / Barkhausen Institut Dresden
- Prof. Norman Franchi, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
- Prof. Hans Dieter Schotten, DFKI

#### Unterstützer

##### Industrie

- Horst Jonuscheit, Saab Deutschland
- Dr Jan Goerlich, Saab Deutschland
- Dr. Michael Meyer, Ericsson
- Dr. Patrick Scheele, Hensoldt
- Dr.-Ing. Steffen Lutz, Hensoldt
- Ulrich Barth, Nokia
- Dr. Thorsten Wild, Nokia
- Frank Schaich, Nokia
- Uli Barth, C5UAV GmbH
- Dr. Rahmi Salman, Westnetz
- Heinrich Heiss, Infineon
- Fabian Mackenthun, NXP
- Dr.-Ing. Dominic Schupke, Airbus
- Peter Riedel, Rohde & Schwarz
- Meik Kottkamp, Rohde & Schwarz
- Eurocommand GmbH

##### Betreiber

- Dr. Ralf Irmer, Vodafone

##### Verbände

- Dr. Hans-Joachim Kolb, DITS.center e.V

##### Forschungsorganisationen

- Prof. Eckhard Grass, IHP (Leibniz)
- Prof. Slawomir Stanczak, Fraunhofer HHI
- Prof Giuseppe Caire Technische Universität Berlin
- Prof. Thomas Zwick, KIT
- Prof. Robert Weigel, FAU
- Prof. Giovanni Del Galdo, Fraunhofer IIS
- Holger Maune, Uni Magdeburg
- Prof. Christian Wietfeld, TU Dortmund / Deutsches Rettungsrobotik-Zentrum (DRZ)

##### Behörden und Anwender

- Paul Bender, Bundesnetzagentur

- Dirk Aschenbrenner, Feuerwehr Dortmund, Deutsches Rettungsrobotikzentrum (DRZ) und Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V.

## Inhaltsverzeichnis

1. Motivation .....	3
2. Das Potenzial von 6G für die Sicherheitsforschung.....	4
3. Anwendungsszenarien für Integrated Communication and Sensing (ICAS) .....	5
4. Technisches Potenzial und Fähigkeiten zur Unterstützung von ICAS .....	7
5. Wirtschaftliches Potenzial und Ressourceneffizienz.....	9
6. Sicherheit, Privatsphäre und Regulierung.....	10
7. Handlungsempfehlungen .....	12
8. Quellen .....	14

## 1. Motivation

Die aktuellen geopolitischen Entwicklungen sind beunruhigend und verursachen bei vielen von uns das Gefühl von Ohnmacht. Um uns gegen Bedrohungen zu schützen, sind wir mehr denn je auf Forschung und Technologieführerschaft angewiesen. Der Agendaprozess des BMBF zielt deshalb auf eine Fortschreibung des Rahmenprogramms zur „Forschung für die zivile Sicherheit“ ab [1]. Technischer Vorsprung und die Nutzung der Potenziale der digitalen Transformation sind besonders gefragt.

Der souveräne Umgang mit den modernen Kommunikationstechnologien bietet dabei ein riesiges, zum Teil noch ungenutztes Potenzial für die Gewährleistung der zivilen Sicherheit. Wesentliche Aufgaben der Sicherheitsforschung sind mit Erfassung, Management und Austausch von Information verknüpft. Die enge Verbindung von Sensorik und Kommunikation ist somit ein naheliegendes Ziel. Dieses Positionspapier fokussiert auf eine neuartige, besonders enge Integration von Sensorik und Kommunikation. Es wird der Ansatz verfolgt, die systemimmanenten Fähigkeiten der Funkschnittstelle eines Mobilfunksystems unmittelbar auch für die Funksensorik und Funkortung zu nutzen. Das Prinzip des Integrated Communication and Sensing (ICAS) wird in der aktuellen Schwerpunktsetzung für die zukünftige 6. Mobilfunkgeneration (6G) an vorderer Stelle genannt. Vom BMBF wird die Entwicklung von ICAS im Forschungsrahmenprogramm „Digital.Sicher.Souverän“, speziell innerhalb der „6G-Industrieprojekte zur Erforschung von ganzheitlichen Systemen und Teiltechnologien für den Mobilfunk der 6. Generation“ gefördert.

Jedoch ist bei den Anwendungsfeldern von ICAS die Gewährleistung der zivilen Sicherheit bisher nicht genügend berücksichtigt. Es zeigt sich aber, dass 5G/6G mit der allgegenwärtigen Verfügbarkeit bei der Vernetzung mobiler Teilnehmer und mit innovativen technischen Merkmalen wesentlich zur Gewährleistung der zivilen Sicherheit im öffentlichen und privaten Bereich beitragen kann. Mit ICAS besteht die Chance, nachhaltige und ressourcenschonende Lösungen für neue sensorspezifische Netzdienste der zivilen Sicherheit zu schaffen, die Eingang in die internationale Standardisierung von 6G finden werden. Wir gehen davon aus, dass die nahtlose Integration von Sensorfunktionen in öffentliche und private Kommunikationsnetze und insbesondere in Public Protection Disaster Relief (PPDR-) Netze eine wichtige Rolle spielen wird.

Es ist das zentrale Anliegen dieser Initiativgruppe, die Gesellschaft und vor allem Entscheidungsträger auf die Wichtigkeit der ICAS Technologie und ihr Potenzial für die zivile Sicherheit hinzuweisen. Damit sollen die Voraussetzungen geschaffen werden, dass die resultierenden speziellen Anforderungen entwickelt und rechtzeitig in das ICAS-Konzept für 6G eingespeist werden. Auf dieser Basis können ICAS-Dienste zur Gewährleistung der zivilen Sicherheit geschaffen werden.

## 2. Das Potenzial von 6G für die Sicherheitsforschung

Die Situation im Mobilfunk ist dadurch gekennzeichnet, dass aktuell das Netz der 5. Generation (5G) ausgerollt wird. In der Forschung und Standardisierung werden die Weichen für 6G gestellt. Bereits mit 5G werden völlig neue Anwendungen erschlossen und tiefgreifende Innovationen umgesetzt. Mit den sogenannten „Verticals“ etablieren sich ganze Ökosysteme von Anwendungen z.B. in den Bereichen Automobil, Verkehr und Logistik, aber auch in der industriellen Automatisierung, in der Landwirtschaft, im Gesundheitswesen und im Multimediabereich. Diese Anwendungskomplexe werden befeuert durch die allgegenwärtige Verfügbarkeit des Netzes, hohe Datenraten, kurze Latenzzeiten usw. Eine der wesentlichsten Neuerungen ist die Mobile Edge Cloud (MEC). Damit werden die Flexibilität des Netzes gewährleistet und „Computing Services“ im Netz ermöglicht. Das ermöglicht völlig neue, auf den modernen Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) aufbauende Dienste und Anwendungen. Darüber hinaus werden die neuen Netze in einem Maße skalierbar sein, dass sie auf die verschiedensten Anwendungen und Geschäftsfelder zugeschnitten werden können. Neben öffentlichen Netzen kommen proprietäre Campusnetze ins Gespräch, die zweckgebunden an die besonderen Anforderungen eines privaten Betreibers angepasst sind. Für das zukünftige 6G-Netz werden sich diese Trends verstärken.

Die vertikalen Anwendungen werden überall dort erfolgreich sein, wo durch mobile und vernetzte Dienste die Effizienz der Prozesse gesteigert und neue Produkte und Dienstleistungen geschaffen werden. Die 5G Alliance for Connected Industries and Automation (5G-ACIA), die unter dem Dach des ZVEI agiert, fasst zum Beispiel die Interessen der produzierenden Industrie zusammen und vertritt sie gegenüber den Mobilfunkbetreibern und den Systemhäusern [2]. Damit wird ein Einfluss erzeugt, das bis zur Standardisierung und Regulierung (3GPP, IEEE, GSMA usw.) reicht. Einzelne Industriezweige oder gar KMU könnten dieses Momentum allein aufgrund der notwendigen Größe nicht aufbauen. Eine ähnliche Rolle spielt die 5G Automotive Association (5GAA), [3] für den Einzug von 5G in den Automotive-Bereich. Wobei hier vor allem die Abstimmung mit den koordinierten Interessen der Automobilhersteller wichtig ist.

Es zeigt sich, dass die oben aufgezählten Merkmale von 5G und 6G für verschiedene Anwendungen und Szenarien zur Gewährleistung der zivilen Sicherheit im öffentlichen und privaten Bereich äußerst sinnvoll wären. Für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) werden geschützte Netzwerkbereiche und Public Protection Disaster Relief (PPDR) Dienste geschaffen, die nicht nur eine resiliente Kommunikation erlauben, sondern auch missionskritische Datendienste (mission critical intelligence) zur Verfügung stellen. In diesen Kontext fügt sich das neue ICAS-Prinzip ein, das im Bereich der Funksensorik zusammen mit den im Netz verfügbaren verteilten Computing-Fähigkeiten und den Methoden der künstlichen Intelligenz völlig neue Netzdienste erlauben würde. Im Sicherheitsbereich fehlen allerdings bisher Strukturen wie die 5GACIA und die 5GAA, welche die vorhandenen Interessen in einer ähnlichen Weise bündeln und artikulieren. Es ist deshalb Ziel dieses Positionspapiers, die Grundlagen dafür zu legen und das Potenzial für ICAS im Rahmen von 5G/6G zur Gewährleistung der zivilen Sicherheit zu erkunden und zu manifestieren. Dabei sollen die Interessen von Behörden, und Verbänden mit den Fähigkeiten der Industrie und der Betreiber sowie der Forschungsorganisationen verknüpft werden.

### 3. Anwendungsszenarien für Integrated Communication and Sensing (ICAS)

Die Fähigkeiten von 6G-ICAS müssen sich an den bekannten und erwarteten Bedrohungslagen und an den daraus resultierenden Bedürfnissen der Endanwender, wie zum Beispiel der Feuerwehr oder der Polizei festmachen. Sie folgen aus den drei Säulen des Programms zur zivilen Sicherheitsforschung:

- Schutz und Rettung von Menschen.
- Schutz kritischer Infrastrukturen und Dienste.
- Schutz vor Kriminalität und Terrorismus.

Die Erfüllung dieser Punkte mit Hilfe des Mobilfunknetzes erfordert, dass an bestimmten Stellen ein Paradigmenwechsel von kooperativen zu nicht-kooperativen Methoden erfolgt. So sind Lokalisierungsdienste bereits seit langem Bestandteil der Mobilfunksysteme und bei 3GPP entsprechend standardisiert. Sie dienen aber bisher lediglich zur Lokalisierung von Endgeräten (User Equipment, UE), die sich im Netz kooperativ verhalten, die also als Endgerät in das Netz eingebucht sind und der Nutzer diesem Dienst zugestimmt hat. Bei den o.g. drei Säulen genügt das offenbar nicht.

Für die Erfassungen illegaler Aktivitäten (dazu gehören auch vorsätzliche Störungen des legalen Funkverkehrs) müssen prinzipiell unbekannte (systemfremde) Aussendungen identifiziert und lokalisiert werden. Das ähnelt bekannten Aufgaben der behördlichen Funküberwachung. Passive Objekte, die selbst kein Signal aussenden, werden dadurch erkannt, dass sie durch Funkwellen geeignet „illuminieren“ werden. Das ist allgemein als Radar-Sensorik bekannt. Bei ICAS findet die Ausleuchtung allerdings mit Hilfe des Mobilfunknetzes statt, wie weiter unten noch näher ausgeführt wird.

Im Folgenden wollen wir die Anwendung von ICAS für die Sicherheitsforschung an vier hypothetischen Anwendungsszenarien beispielhaft erläutern.

#### 1. Absicherung des kommerziellen Drohnen-Verkehrs

Für die kommerzielle Nutzung des unteren Luftraumes durch Drohnen (auch UAV, Unmanned Air Vehicles oder UAS, Unmanned Aircraft Systems) wurde mit dem „U-Space“ ein spezieller Luftraum eingerichtet, in dem Regeln zur sicheren Nutzung definiert sind (s.a. EU Drone policy 2.0). Dabei ist 5G/6G als zuverlässige und allgegenwärtige Kommunikationsplattform über größere Entfernungen zur Steuerung der Drohnen vorgesehen. Die auf dieser Basis geplanten UTM (UAS Traffic Management) Systeme [4] allein reichen aber für die Gewährleistung eines sicheren Flugbetriebes nicht aus, da sie keine ausreichende Sicherheit gegen eine missbräuchliche bzw. fehlerhaften Nutzung des U-Space bieten oder mögliche Kollisionen mit anderen fliegenden Objekten (Vögel, Hobbydrohnen, Paragleiter usw.) verhindern. In der herkömmlichen Flugsicherung werden dafür dedizierte Systeme zur Radar- und Funkortung eingesetzt. Sie erlauben es, nach dem Prinzip **trust but verify**, die Angaben des primären kooperativen Überwachungssystems (ADS-B) unabhängig zu überprüfen sowie Eindringlinge und Bedrohungslagen rechtzeitig zu erkennen. Die vorhandenen Systeme der Flugsicherung sind allerdings für den U-Space nicht einsetzbar, da sie dafür weder technisch ausgelegt sind, noch annähernd ökonomisch betrieben werden können. Ein Mobilfunknetz mit ICAS-Fähigkeit zur Radarsensorik und Funkortung könnte dagegen mit vergleichsweise geringem Installations- und Betriebsaufwand eine allgegenwärtige (flächendeckende) Lösung zur Detektion von Regelverstößen und unerlaubten Eindringlingen in den U-Space bieten.

#### 2. Sicherheit auf Autobahnparkplätzen

Der organisierte Frachtdiebstahl auf deutschen Autobahnen richtet inzwischen jährlich einen Milliardenschaden an [5]. Organisierte Banden gehen nach dem folgenden Schema vor [6]: *„Mit fünf bis acht Personen würden sie Raststätten nach lukrativen Fahrzeugen und nach Polizeipräsenz erkunden. Die gehen beim Diebstahl professionell vor: Sie sind zum Teil mit Störsendern ausgestattet. Da geht dann auf dem Parkplatz kein Handy mehr, kein Funk, keine Alarmplane, nicht*

*mal Polizeifunk. Sie würden ihre Fahrzeuge neben dem Lkw parken, die Plane in Türgröße aufschneiden, die Ware herüberziehen und dann nach Polen bringen.“*

Die Polizei ist aufgrund der vielen Möglichkeiten und damit einhergehend, wegen der fehlenden flächendeckenden 24/7 Observierung, überfordert. Die sich daraus ergebende mangelnde Präsenz und das Fehlen spezialisierter Polizeieinheiten sind ein Teil des Problems, fehlende technische System zur schnellen Erkennung einer Bedrohung sind ein anderer Teil. Eine unmittelbare Reaktion des Fahrers verbietet sich in der Regel, um sich nicht selbst zu gefährden. Abgesichert Autobahn-parkplätze sind selten und die Nutzung ist sehr teuer. Was benötigt wird, ist ein allgegenwärtiges, vernetztes Sensorsystem, das eine Bedrohungssituation unmittelbar erkennt, zuverlässig weiterleitet und die Einsatzkräfte alarmiert. Dafür sind robuste und intelligente Funk- und Radar-Sensoren erforderlich, die mit zusätzlichen Video-, Infrarot- und Schallsensoren zusammenarbeiten. Dazu gehört auch, dass mit der Bedrohungslage verknüpfte Funkaktivitäten erfasst und Störsender schnell erkannt und lokalisiert werden. Die ICAS-Fähigkeit, eingebettet in ein resilientes Funknetz wäre ein Lösungsansatz, der mit wenig speziellen Installationsaufwand auskäme.

### 3. Sicherheit im Schiffsverkehr

Auch im Bereich der Schifffahrt gibt es eine großes Potenzial an illegalen Aktivitäten. Sie reichen von illegalem Fischen, über das verbotene vorsätzliche Verklappen von Schadstoffen bis zum Schmuggel von Gütern und zum Schleusen von Flüchtlingen. Auch wenn der Schiffsverkehr ähnlich wie der Luftverkehr potentiell gut kontrolliert und überwacht ist, gibt es das Problem der sogenannten „dark ships“. Das sind Schiffe, bei denen das Automatic Identification System (AIS) wegen einer beabsichtigten Regelverletzung temporär abschalten wurde. Im globalen Maßstab versucht man, solche „dark ships“ anhand ihrer (meist nicht vollständig) unterdrückten Funkemissionen zu erkennen und zu orten [7]. Dazu werden Kleinstsatelliten eingesetzt, die auf niedrigen Bahnen (LEO) in Cluster-Formationen fliegen. Kommerzielle Aktivitäten sind u.a. von HawkEye [8] oder KLEOS [9] bekannt. Ein Nachteil dieser Systeme ist, dass es zu wenige Satelliten-Cluster gibt, so dass ihre Wiederkehrzeit zu gering ist, um schnell veränderliche Szenarien zu erfassen. Hier bieten sich mit Hilfe von ICAS zwei Lösungsszenarien an. Zunächst kann man feststellen, dass der terrestrische Mobilfunk Küstengewässer recht gut abgedeckt. So könnte mit Hilfe der ICAS-Fähigkeit von 6G Funknetzwerken ein kooperatives Sensornetz zur Lokalisierung nicht-kooperativer Aussendungen und zur Radarortung passiver Objekte entstehen, das mit zusätzlichen Fähigkeit durch weitere Sensoren (z.B. Infrarot) ausgestattet werden kann, um küstennahe illegale Aktivitäten aufzuklären. Ein anderer, viel weitreichenderer Ansatz geht von der Nutzung der Satellitenkommunikation aus. Bereits jetzt zeichnet sich ab, dass der 6G-Mobilfunk durch eine Satellitenkomponente ergänzt werden wird. Die bekannten Aktivitäten von Starlink, OneWeb und Kuiper sind klarer Vorboden, wie sich die weltweite Vernetzung auch in abgelegenen Regionen entwickeln wird. Es bietet sich also geradezu an, zukünftige 6G Satellitenfunknetze von vornherein mit ICAS-Fähigkeiten auszustatten. Man hätte damit ohne hohen Zusatzaufwand ein flächendeckendes globales Netz von Funkensoren mit Echtzeitfähigkeit zur Verfügung.

### 4. Rettungseinsätze mit robotischer Unterstützung

Bei Rettungseinsätzen aller Art werden zunehmend Robotiksysteme eingesetzt, um die Einsatzkräfte im Bereich der Lageerkundung und bei der Durchführung von Rettungsmaßnahmen zu unterstützen. Diese für den Rettungseinsatz ausgelegten Systeme erfordern einerseits eine zuverlässige Vernetzung (z.B. zur Übertragung von Bilddaten und zur Teleoperation der Robotiksysteme) ebenso wie eine leistungsstarke Sensorik (z.B. zum Auffinden von Personen, zur Detektion von Glutnestern oder zur ersten Detektion struktureller Gebäudeschäden). Sie müssen sich dabei in unbekannter Umgebung, ggf. auch bei schlechten Sichtverhältnissen zurechtfinden. Die aktuellen Lösungsansätze für die Rettungsrobotik realisieren Sensorik und Kommunikation

durch separate Systeme, was durch die verfügbaren Ressourcen der mobilen Plattformen (Energie, Gewichtsbeschränken, Formfaktoren) zu Einschränkungen der Einsatzfähigkeiten führen kann. Hier bieten ICAS-Lösungen ein sehr großes Potential, um Kommunikation und Sensorik kompakt und energieeffizient zu realisieren. So können Funksysteme zum Beispiel in einer Search & Rescue Mission einerseits zur Kommunikation zwischen den Robotern untereinander, sowie dem Leitstand eingesetzt werden und gleichzeitig zum Beispiel verschüttete Personen auffinden. Wärmebildkameras sind dabei hilfreich, liefern allein aber oft unzuverlässige Ergebnisse. Eine Fusion mit anderen Sensordaten ist dann sinnvoll. Funkbasierte Sensoren können vorteilhaft eingesetzt werden, um verschüttete Personen anhand ihrer Lebensfunktionen Atmung und Herzschlag zu erkennen. Das gilt insbesondere auch wenn schlechte Sichtverhältnisse gegeben sind und die Opfer durch Schutt und andere Hindernisse verdeckt werden. Funkwellen sind dann besonders geeignet, wenn sie eine große Bandbreite besitzen und tiefe Frequenzen (wegen der besseren Durchdringung) enthalten. Frühere Untersuchungen [17] haben sich deshalb auf den sogenannten UWB- (Ultra Wide Band) Frequenzbereich bezogen. Auch wenn die Anwendung von UWB in der Kommunikationstechnik aus Gründen der Kompatibilität wenig erfolgreich war, bleiben die physikalischen Vorteile großer Bandbreiten und bestimmter Frequenzen selbstverständlich erhalten. Es ist zu erwarten, dass der durch die tiefe Integration von Sensorik und der Kommunikation ermöglichte Zugriff auf sehr unterschiedliche Frequenzbänder (s. Abschnitt 4.3) neue Möglichkeiten eröffnet, um die Funksensorik z.B. für die Erkennung von Material- und Oberflächeneigenschaften oder auch zum Erkennen verdeckter Strukturen zu nutzen.

Aktuelle Ansätze in diese Richtung werden im Rahmen der 6G-Initiative durch den Forschungshub 6GEM im Deutschen Rettungsrobotikzentrum (DRZ) verfolgt [13]. Anknüpfend an diese Grundlagenforschung ergeben sich zahlreiche weitere Forschungsfragen bis einsatztaugliche ICAS-Systeme auch unter den harschen Bedingungen des Rettungseinsatzes nutzbar werden. Die Kombination von Rettungsrobotik und ICAS bietet für die Rettungskräfte die Chance für ein immersives „Eintauchen“ der Rettungskräfte in gefährliche Lagen. Somit kann eine bisher nicht verfügbare „Situational Awareness“ und Handlungsfähigkeit erzielt werden.

Über die vier genannten Beispiele hinaus sind viele weitere Anwendungen von ICAS denkbar, die einen Beitrag zur Verbesserung der gesellschaftlichen Resilienz, zur Bewältigung von Naturkatastrophen und zum Schutz von kritischen Infrastrukturen [10] vor Terrorismus und Kriminalität leisten können. Von besonderem Interesse sind: Sicherheit in öffentlichen Verkehrsräumen (Straße, Bahn, Fußgänger), Smart City, Objektschutz (Kommunikationsknotenpunkte, Kraftwerke, Energienetze, Wasserversorgung, Wasserbauwerke), Schiffsverkehr (Häfen, Schifffahrtswege), Logistik, Güterumschlag, Bahnhöfe, Gleisanlagen, Industrieanlagen, Industrieautomatisierung, offene Werksgelände, autonome Fahrzeuge (AGV) und mobile Roboter, sowie der Katastrophenschutz, usw. Weitere Anwendungen sind im privaten und häuslichen Bereich auf Basis von ICAS in lokalen WLAN-Netzen denkbar.

#### **4. Technisches Potenzial und Fähigkeiten zur Unterstützung von ICAS**

Die Fähigkeiten von ICAS ergeben sich aus der Nutzung des inhärenten Potenzials der Mobilfunksysteme. Einerseits ist deren Funkschnittstelle inzwischen so flexibel und programmierbar gestaltet, dass sie relativ leicht verschiedene Aufgaben der Funksensorik mitübernehmen kann. Andererseits ist das vorhandene Netz allgegenwärtig und kann für die Weiterleitung und Verarbeitung diverser Sensordaten und zur Fusion von Informationen auf unterschiedlichen Ebenen eingesetzt werden.

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit sollen hier einige für ICAS-Systeme in der Bedeutung besonders herausragende Merkmale des Mobilfunknetzes als Beispiele genannt werden.

#### 1. Architektur der Funkzugangsnetze

Die zellulare Struktur der Mobilfunknetze unterstützt sowohl ein rein infrastrukturbasiertes Sensing als auch eine Einbeziehung von (ggf. mobilen) Endgeräten im Up- und Down-Link (UL, DL). Die direkte (im allgemeinen vermaschte) Kommunikation zwischen den UEs erlaubt bei Bedarf einen völlig autonomen Betrieb. Damit sind ICAS-Netze mit frei definierbarer Abdeckung und beliebiger Mobilität denkbar. Insbesondere können die Sensoren auch autonom und kooperativ agieren.

#### 2. Zugriffsverfahren und Adaption der Ressourcen an der Funkschnittstelle

Im Mobilfunk sind Verfahren zum kollisionsfreien Zugriff mehrerer Nutzer bereits fest etabliert. Diese können für den verteilten Mehrensorbetrieb und Koordinierung mehrerer ICAS-Funkknoten genutzt werden. Damit sind verteilte, kooperativ in Echtzeit arbeitende MIMO-Radarsysteme unmittelbar realisierbar. Durch die Numerologie des Modulationsformats und eine entsprechende Zuordnung der Funkressourcen ist eine weite Flexibilität und Skalierbarkeit der ICAS-Funktion im Sinn von Zielauflösung und nachverfolgbarer Zieldynamik gegeben. Das wird weiter unterstützt, durch die bereits inhärent vorhandenen Möglichkeiten zur Anpassung der Signale an die gegebene Umgebung. Damit ist die Tür weit geöffnet, um eine adaptive Radarsensorik zu betreiben.

#### 3. Verteilte Frequenzbänder

Es ist ein inhärentes Merkmal des Mobilfunks, dass sehr unterschiedliche Frequenzbänder genutzt werden, aktuell vor allem in den Bereichen deutlich unter 1 GHz bis ca. 6 GHz oder leicht darüber. Für 5G wurden zudem Bänder im unteren Millimeterwellenbereich (mmW) erschlossen, während für 6G auch der obere mmW-Bereich bis über 100 GHz ins Auge gefasst wird. In diesen verschiedenen Frequenzbereichen unterliegt die Wellenausbreitung sehr unterschiedlichen physikalischen Einflüssen, vor allem was die Interaktion mit potentiellen Zielobjekten angeht (Durchdringung, Reflexion, Streuung, Beugung). Außerdem ist die jeweils verfügbare Bandbreite unterschiedlich. Grundsätzlich steigt sie mit der Frequenzlage. Einerseits ist der Umgang mit gesplitteten (nicht zusammenhängenden) Teilbändern eine Herausforderung für die Signalverarbeitung zur Zielschätzung und für die Datenfusion. Andererseits verspricht die Nutzung der resultierenden Frequenzdiversität und -agilität einen Performanzgewinn und eine höhere Resilienz gegenüber Störungen im Vergleich zu Radaren, die in einem festen Frequenzband betrieben werden. Das wäre ein Vorteil von ICAS, der mit dedizierten Radaren kaum erreicht werden kann, da diesen nicht diese Vielfalt an Frequenzbändern zur Verfügung steht.

#### 4. Antennen, Duplex und Multistatik

Die Nutzung von Antennenarrays ist im Mobilfunk bereits gut etabliert. Vor allem die zur Infrastruktur gehörenden Funkzugangsknoten werden bei den höheren Frequenzen im mmW-Bereich Antennenarrays nutzen. Damit ist eine räumliche Filterung bzw. Fokussierung bei der Ausleuchtung des Szenarios und beim Empfang der Sensorsignale möglich. So kann Clutter unterdrückt und in begrenzten Umfang auch die Richtung zum Ziel geschätzt werden. Funkschnittstellen mit Vollduplex-Fähigkeit erfordern allerdings ein spezielles Design und stehen gegenwärtig noch nicht allgemein zur Verfügung. Dagegen bietet sich für ICAS für den verteilten MIMO-Radar-Betrieb an, denn der Mobilfunk ist per se bi/multistatisch. Das kann auch Beamforming-Fähigkeiten an einzelnen Funkknoten ein schließen. Die benötigten Mechanismen zur Synchronisation und Linkadaption sind zudem in Mobilfunksystemen inhärent vorhanden. Eine verteilte multistatische Sensorik hat den Vorteil einer homogenen Abdeckung eines Zielgebietes.



Außerdem ergibt sich ein Diversitätsgewinn bei der Detektion und es wird mehr Information über den Typ des Ziels geliefert.

#### 5. Netzwerk und Datenfusion

Ein unmittelbarer Gewinn durch die Integration der Sensorik in ein existierendes Mobilfunknetz besteht darin, dass das Netzwerk für die Datenfusion genutzt werden kann. Das betrifft nicht nur die Übertragung der Daten zu einem Fusion Center. Mit der Mobile Edge Cloud (MEC) werden auch gleich die benötigten Rechen-Fazilitäten (Computing Facilities) zur Verfügung gestellt. Sie sind die Grundlagen für die Ressourcen-Zuweisung im gesamten ICAS-Netzwerk und für die auf Methoden der künstlichen Intelligenz beruhenden Datenfusion zur Zieldetektion, -erkennung und -verfolgung. Auf ICAS Funktionen basierende Daten können der Erstellung und dynamischen Aktualisierung eines Digitalen Zwillinges (digital twin) der Umgebung dienen. Verbunden mit weiteren Daten aus anderen Quellen kann eine realistische Nachbildung des Lagebildes erfolgen. Das erlaubt eine gründliche Analyse der gegebenen Situation und möglicher Maßnahmen sowie eine Abschätzung der Konsequenzen durch unvollständige bzw. fehlerhafter Information. Vor allem aber können mit der Hilfe des Digitalen Zwillinges Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) mit praktisch relevanten Daten angelernt und verifiziert werden.

#### 6. Robustheit und Resilienz

Für die Anwendung durch Behörden und in kritischen Einsatzszenarien werden die entsprechenden PPDR-Funknetze mit Resilienz-Merkmalen ausgestattet. Das kommt natürlich der Resilienz der ICAS-Dienste unmittelbar zugute. Andererseits eröffnet ICAS Möglichkeiten, Störungen zu erkennen und proaktiv zu umgehen, z.B. indem freie (ungestörte) Frequenzbänder und alternative Übertragungswege identifiziert werden. Eine unabhängige Radarsensorik zur Lokalisierung kann z.B. für die Identifikation von Nutzern mit verfälschten Nutzerprofilen verwendet werden. D.h. ICAS kann selbst auch zur Verbesserung der Resilienz des Netzes beitragen.

Die **angestrebten Fähigkeiten von ICAS** sind:

1. Erkennen und Lokalisierung von kooperativen und nichtkooperative Funkausstrahlungen in einem bestimmten Gebiet (Emitterlokalisierung).
2. Erkennung, Lokalisierung und Tracking von passiven Objekten in einem bestimmten Gebiet (Radar-Lokalisierung).
3. Erkennen und Abbilden von Strukturen in der Umgebung von mobilen ICAS-Sensoren (Radar-SLAM, Simultaneous Detection and Mapping).
4. Ressourcen, Mechanismen und Protokolle zur Fusion der Daten von ICAS-Sensoren und anderer Sensoren zum Erkennen von komplexen und räumlich verteilten Situationen und Lagebildern durch künstliche Intelligenz.

## 5. Wirtschaftliches Potenzial und Ressourceneffizienz

Ein entscheidender Vorteil von ICAS, also der nahtlosen Integration von Sensorfunktionen in das zukünftige 6G-Netz ist, dass die bereits existierenden bzw. die für die Kommunikation ohnehin zu schaffenden Ressourcen mitgenutzt werden. Das hat folgende Vorteile:

Die gemeinsame Nutzung der Frequenzbänder für Kommunikation und Radarsensorik ermöglicht eine flexiblere Bewirtschaftung der begrenzten Ressource „Frequenz“ und macht separate

Frequenzzuweisungen für dedizierte Radare für bestimmte Anwendungen wie z. B. die Überwachung von kritischer Infrastruktur bzw. der Verkehrsüberwachung oder dem Einsatz in Drohnen überflüssig.

Weiterhin ist durch die Mitnutzung der Mobilfunkinfrastruktur eine allgegenwärtige und flächendeckende Verfügbarkeit automatisch gegeben. Damit einher gehen minimale Betriebs- und Erstellungskosten (OPEX und CAPEX).

Außerdem ist eine nachhaltige, schnelle Innovation gesichert. Die Innovationszyklen im Mobilfunk sind sehr kurz. Die Standards werden kontinuierlich fortgeschrieben. In der Vergangenheit wurde ungefähr alle 10 Jahre ein komplett neuer Standard verabschiedet, der jeweils mit einem beträchtlichen Innovationssprung verknüpft war (2G, 3G, 4G, 5G). Das Geschäftsfeld zivile Sicherheit wäre damit ein Nutznießer des starken Innovationsdrucks in anderen, wirtschaftlich stärkeren Anwendungsbereichen.

Schließlich wäre mit den Mobilfunkbetreibern (MNO) auch potentielle Betreiber mit FCAPS-Kompetenz (FCAPS; Fault Management, Configuration Management, Accounting Management, Performance Management, Security Management) für einen administrierten ICAS-Dienst mit definierter Dienstgüte verfügbar. Die Mitnutzung der vorhandenen Ressourcen erhöht erheblich die Verfügbarkeit und Resilienz eines ICAS-Netzes und hilft bei der Schaffung einer allgemeinen und allgegenwärtigen Infrastruktur für die Sensorik zur Gewährleistung der zivilen Sicherheit - von der Sensorik bis zur Datenfusion und der Einleitung von Sicherungsmaßnahmen.

## 6. Sicherheit, Privatsphäre und Regulierung

*„Sicherheit ist von grundlegender Bedeutung für Freiheit, Lebensqualität und Wohlstand. Die zivile Sicherheit berührt alle Lebensbereiche einer modernen und weltoffenen Gesellschaft. Sie trägt dazu bei, dass sich Bürgerinnen und Bürger frei und individuell entfalten können und unterstützt die Gestaltung eines demokratischen Gemeinwesens, in dem soziales Miteinander und gesellschaftliche Teilhabe im Mittelpunkt stehen. Zivile Sicherheitsforschung ist ein Schlüssel, die Sicherheit in allen Lebensbereichen der Gesellschaft zu verbessern, ohne die Freiheit der Menschen einzuschränken.“*

Dieses Zitat aus dem Rahmenprogramm der Bundesregierung zur Forschung für die zivile Sicherheit [1] zeigt das Spannungsfeld zwischen dem allgemeinen Wunsch nach Sicherheit und der grundrechtlich verankerten Notwendigkeit zum Schutz der Privatsphäre. Technische Neuerungen haben häufig das Potenzial, diese Balance zu stören. Dabei sind die Möglichkeiten, die sich mit den neuen Techniken ergeben, oft nicht nur für den Laien schwer überschaubar. Den Ingenieuren wird zudem vielfach unterstellt, dass sie die gesellschaftlichen Konsequenzen der technischen Innovationen unterschätzen. Hier hilft nur eine offene Diskussion, die in allen relevanten Bereichen geführt wird und darauf ausgelegt ist, Missverständnisse sowie oberflächliche und voreilig getroffene Einschätzungen zu vermeiden.

So wird der Einsatz von Beobachtungstechnologien im Bereich der zivilen Sicherheit in gesellschaftlichen wie auch in wissenschaftlichen Debatten kontrovers diskutiert [11]. Insbesondere wird vor dem Einsatz von Technologien zur Gesichtserkennung im öffentlichen Raum gewarnt. Die Nutzung der dem Mobilfunk inhärenten Funktechnologien für Aufgaben der Sensorik (ICAS) geht jedoch nicht in diese Richtung. Das wird im folgenden Abschnitt näher erläutert. Eine weitere potentielle Quelle für Missverständnisse ist die Verwendung des Begriffes „Radar“. Dieser Begriff wird hier im technischen Sinn so verstanden, dass ein Objekt erst durch Funkwellen „beleuchtet“ werden muss, um es sichtbar zu machen. Es sendet also selbst keine Wellen aus und ist auch sonst nicht aktiv an der Ortung beteiligt. Es geht aber dabei nicht um die etablierten Radarsysteme, die in der Flugsicherung, in der Schifffahrt oder für militärische Zwecke genutzt werden oder um zusätzlich zu installierende Radare, sondern um die sekundäre Nutzung der mit dem Mobilfunk inhärenten

Fähigkeiten sowie, um die Nutzung der ohnehin schon stattfindenden Ausleuchtung der Umgebung durch die Kommunikationssignale. Somit entstehen keine zusätzlichen Funkemissionen.

Die passive Funksensorik (Radar) hat gegenüber der Verwendung von Kameras den Vorteil, dass die Identität einer Person nicht erkannt werden kann, so dass die Persönlichkeitsrechte gewahrt bleiben. Vielmehr werden Szenarien, in denen sich Objekte und Menschen befinden identifiziert. Das bietet die Möglichkeit, eine Bewertung der Situation vorzunehmen und bei Gefahr entsprechende Alarme zu auszulösen. Ein Problem mit dem Schutz der Privatsphäre kann erst dann entstehen, wenn Daten der Funksensorik mit anderen personenbezogenen Daten verknüpft werden, so dass eine Rückverfolgung zur Identität des Nutzers ermöglicht wird. Dieses Problem kann also nicht allein auf der Ebene von ICAS behandelt werden. Es bedarf stattdessen einer übergeordneten juristischen Regelung. Beispielsweise kann die Rückverfolgung zum Nutzer einer Drohne anhand einer SIM-Karte zum Zweck der Strafverfolgung und Verbrechensvermeidung oder auch zur Schadensforensik (Ursachenfindung) nur im Rahmen der geltenden gesetzlichen Regeln erlaubt werden. Ähnliches gilt sinngemäß auch für die Erfassung der Kommunikationssignale für den nicht-kooperativen Funkverkehr (lawful interception).

Ein anders geartetes Problem entsteht, wenn sich die UEs (z.B. Automobile) aktiv als Sensor innerhalb eines öffentlichen Funknetzes an ICAS-Lösungen beteiligen. In dem Fall wird erwartet, dass die UEs Sensordaten weitergeben. Dann sind meist weniger Fragen der Privatsphäre, sondern vielmehr Eigentumsfragen und wirtschaftliche Interessen tangiert. Die Akzeptanz einer kontrollierten Weitergabe von bereinigten Daten könnte z.B. durch verteilte Datenfusion nach dem Prinzip des Federated Learning unterstützt werden.

Andere Fragen sind: Welcher Unterschied besteht, wenn die geschützten Daten im öffentlichen Verkehrsraum, also in einem öffentlichen Netz oder im privaten Bereich bzw. in privaten Netzen (auch in Campusnetzen) erbracht werden? Erfordert eine behördliche Nutzung von ICAS ein BOS-Netz? Wer könnte einen ICAS-Dienst mittels eines öffentlichen Netzes im öffentlichen Verkehrsraum einrichten, betreiben und administrieren? Kann daraus ein Business-Modell für einen Mobilfunkbetreiber abgeleitet werden? Wie sieht es aus mit der Interoperabilität bei mehreren MNOs? Welche regulatorischen Zuständigkeiten, Verantwortlichkeiten, Haftungsfragen sind zu beachten? Welche Finanzierungsmöglichkeiten bestehen? Wie groß ist der persönliche und gesellschaftliche Nutzen? Wie ist die Akzeptanz bei den einzelnen Verkehrsteilnehmern? Wie kann die Resilienz eines ICAS-Netzes gewährleistet werden?

## 7. Handlungsempfehlungen

Dieses Positionspapier zielt auf die Förderung von Verbundvorhaben im Rahmen der "Forschung für die zivile Sicherheit" ab. Damit würden die bisherigen 6G-Industrieprojekte des BMBF wirksam ergänzt. Diese Industrieprojekte werden die technischen Voraussetzungen für ICAS im Rahmen von 6G schaffen. Die speziellen Anforderungen, die sich aus Anwendungen für die zivile Sicherheit ergeben, werden dabei bisher nicht oder nur sehr am Rande behandelt. Es soll deshalb Ziel einer entsprechenden Projektförderung im Rahmen der Sicherheitsforschung sein, dass die Akteure aus Wissenschaft, Wirtschaft, Behörden und Sicherheitsorganisationen entlang der gesamten Innovationskette zusammenarbeiten, um die Integration von Kommunikation und Sensorik für aktuelle und zukünftige Aufgaben in der zivilen Sicherheit voran zu treiben. So soll das Potenzial der 6G-Basistechnologie in einer frühen Phase mit der Anwendung „zivile Sicherheit“ zusammengebracht werden.

Am Beginn sollte die Abklärung der Interessenlagen aller Beteiligten stehen. Wer sind potentielle Anwender - Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS), Bundes- und Landespolizei, Kriminalämter), Bundesamt für Güterverkehr (BAG) Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK), Bundesanstalt Technisches Hilfswerk (THW), Feuerwehr, private Sicherheitsdienste, Stadtwerke, Veranstalter von Großveranstaltungen, Betreiber von öffentlichen Einrichtungen, Großunternehmen, Logistikunternehmen (Bahn, Straße, Schiff), Drohnenbetreiber, Energieunternehmen (Kraftwerke und Netze)? Welches sind relevante und praktikable Einsatzszenarien? Wer kommt als Betreiber eines ICAS-Dienstes in Frage?

Um das Forschungsgebiet ICAS in den Fokus der zivilen Sicherheit zu bringen und Konzeptdiskussionen zwischen Anwendern, Operatoren und Systemlieferanten anzustoßen, sollten besonders Verbundprojekte mit folgenden Schwerpunkten angestoßen werden:

- Formulierung von technischen, wirtschaftlichen und regulatorischen Randbedingungen.
- Welche ICAS-Techniken sollen im Hinblick auf Sicherheit menschlichen Lebens und kritischer Infrastrukturen ausgebaut werden?
- Was sind Präventionsmaßnahmen zur Gewährleistung der Sicherheit, die erst durch das Zusammenwirken von unterschiedlichen Funksensorknoten und eines Kommunikationsnetzes möglich werden?
- Entwicklung von Systemvorschlägen, die eine ressourcenschonende Mitnutzung von Komponenten und Prinzipien der existierenden Mobilfunknetze und des 6G-Netzes zum Ziel haben.
- Welche ICAS-Dienste sind in öffentlichen, privaten oder dedizierten BOS-Netzen sinnvoll und welcher Grad an Resilienz wird dabei benötigt?
- Neue Methoden der Signalverarbeitung und Datenfusion auf der Basis von künstlicher Intelligenz und maschinellem Lernen.
- Sicherung der Vertrauenswürdigkeit und DSGVO-Konformität von ICAS-Diensten. ICAS muss so realisiert werden, dass ein Verlust der Privatsphäre zuverlässig ausgeschlossen werden kann.
- Diskussion zu technischen Möglichkeiten der Entscheidungsfindung unter der Verwendung sensibler Daten.
- Interdisziplinäre Forschung im Bereich zwischen operativem Einsatz, juristischen und ethischen Fragestellungen und technischer Umsetzung - ermöglicht durch entsprechende Förderung und Zusammenbringen der verschiedenen Communities.

Den Autoren dieses Positionspapiers ist bewusst, dass mit dem Thema der Integration von Kommunikation und Funksensorik/Funkortung (ICAS) in zukünftigen Mobilfunksystemen nur ein, wenn auch wichtiges, Teilgebiet von 6G zur Gewährleistung der zivilen Sicherheit abgedeckt wird. Weitere

Aufgaben werden die Resilienz der Kommunikation in gesicherten BOS-Netzen und die Einbindung weiterer, nicht direkt aus dem Mobilfunknetz ermittelter Daten beliebiger Sensoren sein. Es wird sinnvoll sein, die verschiedenen Anwendungen von 6G für die zivile Sicherheit zu bündeln.

Wir sind uns auch bewusst, dass die verschiedenen Organisationen, die ICAS für die zivile Sicherheit anwenden könnten, in die Gestaltung dieses Positionspapiers in der Kürze der Zeit noch nicht genügend einbezogen wurden. Dieses Papier ist aus der Sicht der Mobilkommunikation geschrieben. Die schnelle Identifikation einer gemeinsamen Diskussionsplattform ist deshalb von entscheidender Bedeutung, um Einsatzszenarien, Kooperationspartner und Netzwerke zu identifizieren. Die Initiativgruppe schlägt vor, dafür die **6G-Plattform für zukünftige Kommunikationstechnologien und 6G** [12] zu nutzen und in diesem Rahmen passende Workshops zu organisieren.

## 8. Quellen

- [1] <https://www.sifo.de/sifo/de/programm/forschung-fuer-die-zivile-sicherheit.html>
- [2] <https://5g-acia.org/>
- [3] <https://5gaa.org/>
- [4] <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2021/065-scheuer-foerderung-u-space-reallabor.html>
- [5] <https://www.verkehrsrundschau.de/nachrichten/transport-logistik/bundesverkehrsministerium-gegen-organisierte-kriminalitaet-2998625>
- [6] <https://www.trucker.de/nachrichten/recht/auf-der-spur-der-frachtdiebe-2431897>
- [7] <https://news.mongabay.com/2021/06/dark-ships-off-argentina-ring-alarms-over-possible-illegal-fishing/>
- [8] <https://www.he360.com/>
- [9] <https://kleos.space/>
- [10] [https://www.kritis.bund.de/SubSites/Kritis/DE/Einfuehrung/einfuehrung\\_node.html](https://www.kritis.bund.de/SubSites/Kritis/DE/Einfuehrung/einfuehrung_node.html)
- [11] [https://www.tab-beim-bundestag.de/projekte\\_beobachtungstechnologien-im-bereich-der-zivilen-sicherheit.php](https://www.tab-beim-bundestag.de/projekte_beobachtungstechnologien-im-bereich-der-zivilen-sicherheit.php)
- [12] <https://www.forschung-it-sicherheit-kommunikationssysteme.de/projekte/6g-plattform>
- [13] <https://cni.etit.tu-dortmund.de/institute/news/details/6geminterschutz-2022-demonstrating-the-potential-of-the-future-rescue-robotics-metaverse-21693/>

Wissenschaftliche Publikationen zu ICAS aus der Initiativgruppe:

- [13] R.S. Thomä, C. Andrich, G. Del Galdo, M. Döbereiner, M. Hein, M. Käske, G. Schäfer, S. Schieler, C. Schneider, A. Schwind, P. Wendland, "Cooperative Passive Coherent Location – A Promising 5G Service to Support Road Safety," IEEE Communications Magazine, Vol.: 57, Issue: 9, September 2019, pp. 86-92
- [14] R. Thomä, T. Dallmann, S. Jovanoska, P. Knott, A. Schmeink, "Joint Communication and Radar Sensing: An Overview," EuCAP2021, 22-26 March 2021, Düsseldorf, Germany, convened paper
- [15] G. Fettweis and H. Boche, „On 6G and Trustworthiness,” Communications of the ACM 65 (4), 48-49.
- [16] M. Lübke, Y. Su, A.J. Cherian, J. Fuchs, A. Dubey, R. Weigel, N. Franchi, "Full Physical Layer Simulation Tool to Design Future 77 GHz JCRS-Applications," in IEEE Access, vol. 10, pp. 47437-47460, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3170919.
- [17] R. Zetik, H. Yan, E. Malz, S. Jovanoska, G. Shen, R.S. Thomä, R. Salman, T. Schultze, R. Tobera, H.-I. Willms, L. Reichardt, M. Janson, T. Zwick, W. Wiesbeck, T. Deißler, J. Thielecke, „Cooperative Localization and Object Recognition“ in R.S. Thomä, R. Knöchel, J. Sachs, J., I. Willms, I., T. Zwick (Eds.), "UKoLoS Ultra-Wideband Radio Technologies for Communications, Localization and Sensor Applications," InTech Academic Publisher, 2013, ISBN: 978-953-307-740-6, pp. 179...240