

Positionspapier des bavAIRia e.V.

Zukunft der satellitengestützten Signals Intelligence (SIGINT) im Low Earth Orbit (LEO)

Stand: Februar 2026

1 Einleitung: New Space, Aufholjagd im All und die strategische Bedeutung von SIGINT

Die deutsche und europäische Raumfahrt steht vor einem entscheidenden Wendepunkt. Studien zeigen, dass Deutschland im internationalen Vergleich in kritischen Bereichen der Raumfahrtstechnologien aufholen muss, um technologische Souveränität und sicherheitspolitische Handlungsfähigkeit zu sichern.

Vor diesem Hintergrund wird der **Low Earth Orbit (LEO)**, der Orbit im Bereich bis zu einer Höhe 2000 km, zunehmend zum zentralen Handlungsraum für die sicherheitspolitische und wirtschaftliche Nutzung von Raumfahrt. Insbesondere satellitengestützte **Signals Intelligence (SIGINT)** gewinnt an Bedeutung: LEO-Satellitenkonstellationen ermöglichen die gezielte Erfassung, Ortung und Analyse elektromagnetischer Emissionen von der Erdoberfläche bis in die obere Atmosphäre. Dabei lassen sich Kommunikationssignale (COMINT), elektronische Signale von Systemen wie Radar oder Navigationsstationen (ELINT) sowie zukünftig auch Telemetrie- und Steuerdaten aus Test- und Entwicklungsprogrammen (FISINT) aufklären. SIGINT liefert so frühzeitige Erkenntnisse über Bedrohungen, unterstützt Multi-Domain-Operations und ist ein zentraler Faktor für technologische Souveränität, da ersichtlich wird, welche Akteure welche Signale aussenden und wo sie operieren.

Dieses Positionspapier zeigt die Entwicklungstrends im LEO auf, beleuchtet Chancen und Herausforderungen für SIGINT und leitet daraus konkrete Handlungsfelder für Bayern als führende Luft- und Raumfahrtregion ab.

2 Veränderungen im LEO: Ein neues Umfeld für SIGINT

2.1 Massiver Ausbau von LEO-Infrastrukturen

Die Anzahl der Satelliten im LEO wächst rasant. Initiativen wie Starlink mit aktuell mehr als 9.000 Satelliten, Amazons Blue Origin, die europäische IRIS²-Initiative und Chinas

ehrgeizige LEO-Flotten verdeutlichen, dass der Orbit zunehmend ein globaler Innovations- und Wettbewerbsraum wird.

Die Nutzung des Low Earth Orbit erfolgt in der Regel durch Konstellationen aus mehreren Satelliten und bietet gegenüber geostationären Systemen in rund 36.000 Kilometern Höhe, die als fest positionierte Einzelsatelliten betrieben werden, entscheidende Vorteile:

- **Niedrige Latenz:** Rund 500–2000 km Höhe reduzieren die Signal-Round-Trip-Zeit erheblich.
- **Hohe Bandbreiten und Kapazität:** Engmaschige Konstellationen ermöglichen dynamisches Routing und verbesserte QoS.
- **Nahezu globale Abdeckung:** Auch abgelegene Polargebiete werden erfasst.
- **Redundanz:** Ausfälle einzelner Satelliten können durch die Vielzahl der Plattformen ausgeglichen werden.

Vor diesem Hintergrund setzt die Bundeswehr auf LEO-Systeme für hochverfügbare, latenzarme Kommunikation und ergänzt damit klassische GEO-Systeme. Für SIGINT bedeutet dies eine höhere Signaldichte und damit verbesserte Möglichkeiten zur Erfassung, Analyse und Geolokalisierung elektromagnetischer Emissionen.

2.2 Miniaturisierung und neue Satellitenarchitekturen

Die SIGINT-Fähigkeiten im LEO werden zunehmend durch Kleinsatelliten wie CubeSats und NanoSats getragen. CubeSats basieren auf einem standardisierten Baukastenprinzip mit einer Grundeinheit von 1U ($10 \times 10 \times 10$ cm). Typische Konfigurationen reichen von 1U, 3U und 6U bis hin zu 12U oder 16U, wobei größere Einheiten mehr Volumen für Antennen, On-Board-Processing und Energieversorgung bieten. NanoSats bewegen sich in ähnlichen Größenordnungen und wiegen in der Regel unter 10 kg. Diese modularen Plattformen ermöglichen einen Paradigmenwechsel: weg von wenigen hochkomplexen Einzelmisionen hin zu vernetzten, skalierbaren Konstellationen.

Vorteile:

- **Geringere Kosten pro Einheit** und kurze Entwicklungszyklen von wenigen Monaten
- **Modularität:** Payloads können auf konkrete Missionsanforderungen angepasst werden
- **Schwarmbetrieb:** Mehrere Satelliten operieren koordiniert als verteiltes Sensorsystem, erhöhen räumliche Abdeckung und zeitliche Revisit-Rate, ermöglichen Mehrpunktmessungen zur präziseren Geolokalisierung und bieten durch gegenseitige Validierung eine höhere Datenqualität.
- **Schneller Fähigkeitsaufwuchs:** Rasche Reaktion auf Krisen oder technologische Veränderungen

Für Industrie und Politik eröffnet dies neue Chancen: Serienfertigung, Dual-Use-Designs und offene Architekturen fördern technologische Souveränität und wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit.

3 Zukunft der satellitengestützten SIGINT

3.1 Emissionsbeobachtung als neue Dimension der Erdbeobachtung

SIGINT unterscheidet sich von Imagery Intelligence (IMINT), also der klassischen (geo-)wissenschaftlichen, kommerziellen oder militärischen Informationsgewinnung mittels Satellitenbilder, Aufklärungsflugzeugen oder Drohnen. IMINT erfasst physische Objekte und deren sichtbare oder thermische Erscheinung – es beantwortet die Frage, was vorhanden ist und wie es aussieht.

SIGINT hingegen erfasst aktiv ausgesendete elektromagnetische Signale technischer Systeme. Es beantwortet die Frage, wer sendet, wann, wie und mit welcher technischen Fähigkeit. Während IMINT Zustände abbildet, analysiert SIGINT Aktivitäten und Betriebsmodi. Es ermöglicht Rückschlüsse auf Kommunikationsstrukturen, Einsatzmuster, technische Leistungsparameter und operative Absichten – selbst dann, wenn physische Objekte verdeckt, getarnt oder außerhalb optischer Sicht operieren.

Im LEO erweitert SIGINT die klassische Erdbeobachtung um die Analyse elektromagnetischer Emissionen. Neben der Erfassung physischer Strukturen ermöglicht sie Aussagen über Nutzung, Aktivität und zeitliche Veränderungen von Systemen.

Jede SIGINT-Disziplin – COMINT, ELINT und FISINT – stellt spezifische Anforderungen an Sensorik, Frequenzabdeckung und Datenverarbeitung. Eine klare Priorisierung dieser Anforderungen ist daher entscheidend für die Auslegung leistungsfähiger LEO-SIGINT-Architekturen.

3.2 Technische Vorteile von LEO-Satelliten für SIGINT

Satelliten im Low Earth Orbit bieten für die satellitengestützte Signals Intelligence (SIGINT) eine Reihe einzigartiger technischer Vorteile, die sie besonders attraktiv für militärische, dual-use und Multi-Domain-Anwendungen machen. Einer der zentralen Aspekte ist die Skalierbarkeit: LEO-Satelliten, insbesondere in Form modularer CubeSat- oder NanoSat-Plattformen, lassen sich in großen Konstellationen betreiben. Dies ermöglicht nahezu kontinuierliche globale Überwachung und erlaubt die Erfassung elektromagnetischer Signale in einem Maßstab, der mit geostationären Systemen nur schwer erreichbar ist.

Ein weiterer Vorteil liegt in den **kurzen Lebenszyklen** der Satelliten. Während traditionelle GEO-Systeme über Jahrzehnte im Einsatz bleiben, können LEO-Satelliten regelmäßig erneuert werden. Dies fördert einen kontinuierlichen Technologietransfer, da neue Sensoren, Frequenzbänder oder Analysealgorithmen schnell in den Orbit integriert werden können. Damit entsteht ein flexibles und anpassungsfähiges SIGINT-System, das auf technologische oder geopolitische Veränderungen zügig reagieren kann.

Die **hohe Überflugdichte** der Satelliten im LEO verbessert die zeitliche Auflösung der Signalaufklärung erheblich. Mehrere Überflüge pro Tag ermöglichen es, ein Gebiet häufiger zu beobachten, wodurch Signalmuster zuverlässiger erkannt und Veränderungen schneller dokumentiert werden können. Gleichzeitig sorgt die **geringere Freiraumdämpfung** aufgrund der Nähe zur Erdoberfläche dafür, dass selbst schwache oder weit entfernte Emissionen effizient erfasst werden können.

Darüber hinaus eröffnen die **Doppler-Effekte**, die durch die hohe relative Geschwindigkeit der Satelliten entstehen, präzise Möglichkeiten zur Geolokalisierung von Signalemittern. In Kombination mit **flexiblen Schwarmoperationen** können Satelliten unterschiedliche Frequenzbänder und Kommunikationsformen gezielt überwachen. Diese Eigenschaften machen LEO-SIGINT zu einem leistungsfähigen Werkzeug für Multi-Domain-Operationen und für die Erstellung robuster, redundanter Lagebilder.

3.3 Dual-Use und Multi-Domain Intelligence

Die technologische Entwicklung von LEO-Satelliten eröffnet neue strategische Perspektiven für SIGINT, die über klassische militärische Anwendungen hinausgehen. **Dual-Use-Plattformen** spielen dabei eine zentrale Rolle: Moderne Erdbeobachtungssatelliten könnten oft für sekundäre SIGINT-Zwecke genutzt werden, ohne dass die Systeme primär militärisch betrieben werden müssen. Offene Architekturen und flexible Datenplattformen erlauben die Integration spezialisierter Sensoren, während bestehende Konstellationen kosteneffizient zur Aufklärung beitragen. Dies senkt Eintrittsbarrieren, beschleunigt die Verfügbarkeit neuer Fähigkeiten und ermöglicht eine effiziente Nutzung von Ressourcen. Ein prägnantes ziviles Beispiel ist das internationale Seenotrettungssystem **Cospas-Sarsat**. Insbesondere LEO-Satelliten erfassen die 406-MHz-Notfunksignale und bestimmen mittels Doppler-Verfahren deren Position. Technisch entspricht dies dem Kernprinzip von SIGINT – der Erfassung und Geolokalisierung elektromagnetischer Emissionen aus dem Orbit.

Parallel dazu gewinnt das Konzept der **Multi-Domain Intelligence** an Bedeutung. LEO-SIGINT wird zunehmend in vernetzte Systeme integriert, die Daten aus Luft, Land, See und Cyber kombinieren. Durch die Fusion verschiedener Datenquellen können umfassende Lagebilder erstellt werden, die eine schnelle und fundierte Entscheidungsunterstützung auf taktischer und strategischer Ebene ermöglichen. Gleichzeitig erhöhen redundante Systeme die Resilienz gegen Ausfälle einzelner Satelliten oder Störungen in einem Frequenzband.

Für Bayern bedeutet dies, dass die vorhandene industrielle und wissenschaftliche Basis genutzt werden kann, um führende europäische Lösungen im Bereich Multi-Domain Intelligence zu entwickeln. Durch die Kombination von Satellitentechnologie, KI-basierter Datenanalyse und Schwarmkonzepten lassen sich Signalerfassung und Lagebildgenerierung auf ein neues Niveau heben.

3.4 KI-gestützte Signalverarbeitung als Gamechanger

Die exponentiell wachsende Signaldichte im LEO macht den Einsatz von **künstlicher Intelligenz (KI)** effizient nutzbar. Klassische, regelbasierte Analyseverfahren stoßen bei der Menge und Geschwindigkeit der Signale an ihre Grenzen. KI ermöglicht eine hochgradige Automatisierung der Signalverarbeitung – von der Detektion über die Klassifikation bis hin zur präzisen Geolocation elektromagnetischer Emissionen.

Automatisierung und Mustererkennung erlauben es, Signale automatisch zu identifizieren, Senderprofile zu erstellen und Anomalien zuverlässig zu erkennen. In Multi-Domain-Systemen können KI-Algorithmen Satelliten-, Luft-, See- und Cyber-Daten miteinander verknüpfen, wodurch Bedrohungen frühzeitig priorisiert und Entscheidungen beschleunigt werden.

Darüber hinaus ermöglicht KI **adaptive Sensorsteuerung**, sodass Satelliten in Echtzeit auf interessante Signale reagieren und ihre Beobachtungsressourcen dynamisch anpassen können. In Kombination mit Schwarmoperationen von Kleinsatelliten wird die Abdeckung maximiert, Redundanz geschaffen und die Signalgenauigkeit erhöht. Damit wird KI von einem Effizienzfaktor zum möglichen Enabler moderner LEO-SIGINT-Systeme.

3.5 Herausforderungen und Risiken

Trotz der klaren Vorteile sind mit LEO-basierten SIGINT-Systemen auch erhebliche Herausforderungen verbunden:

- **Spektrums konkurrenz:** Die hohe Zahl aktiver Satelliten führt zu Interferenzen, Jamming oder Spoofing. Dies erfordert adaptive Filter, (KI-gestützte) Klassifikation und intelligentes Spektrummanagement.
- **Weltraumschrott (Space Debris):** Die zunehmende Satellitendichte erhöht Kollisionsrisiken. Präzises Traffic-Management, Space Situational Awareness und internationale Regeln für End-of-Life-Konzepte sind unerlässlich.
- **Kurze Lebenszyklen:** Ständige Erneuerung und Starts schaffen Abhängigkeiten von Lieferketten und Launch-Dienstleistern, die strategisch abgesichert werden müssen.

- **Abhängigkeit von KI:** Fehlklassifikationen, manipulative Trainingsdaten oder Cyberangriffe können die Analysen gefährden. Deshalb bleibt der Mensch in der Entscheidungskette („Human-in-the-Loop“) ein unverzichtbarer Faktor.

Diese Herausforderungen verdeutlichen, dass technologische Innovationen im LEO immer Hand in Hand mit resilientem Management, robusten Sicherheitskonzepten und politischen Rahmenbedingungen gehen müssen.

4 Bedeutung für Bayern und strategische Handlungsfelder

Bayern verfügt über hervorragende Voraussetzungen, um eine führende Rolle im Bereich satellitengestützter Signals Intelligence (SIGINT) und Space Intelligence einzunehmen. Die Kombination aus starker industrieller Basis, exzellentem Forschungs- und Innovationsökosystem sowie strategischer Relevanz schafft ein Umfeld, das technologische Innovation und sicherheitspolitische Souveränität gleichermaßen ermöglicht.

Die bayerische Raumfahrtindustrie gehört zu den leistungsfähigsten in Europa und deckt die gesamte Wertschöpfungskette für LEO-SIGINT-Systeme ab – von Satellitenbau und -integration über hochspezialisierte Sensorik und Softwareentwicklung bis hin zu Missionsplanung, Betrieb und Datenanalyse. Diese industrielle Stärke eröffnet Chancen für Unternehmen aller Größenordnungen: Große Systemintegratoren können komplette Konstellationen liefern, während KMU und Start-ups Nischenfelder wie Software-defined Radios (SDR), KI-Algorithmen, modulare Payloads oder sichere Datenplattformen besetzen. Dual-Use-Konzepte ermöglichen zudem die Kombination ziviler und sicherheitsrelevanter Anwendungen, wodurch Investitionsrisiken reduziert und Skaleneffekte realisiert werden.

Bayern verfügt darüber hinaus über ein dichtes und international anerkanntes Forschungs- und Innovationsökosystem. Universitäten, Forschungsinstitute und angewandte Einrichtungen treiben Schlüsseltechnologien für zukünftige SIGINT-Systeme voran, darunter flexible Empfangsarchitekturen, weltraumtaugliche KI-Systeme, neue Antennen- und Frequenztechnologien sowie Schwarm- und verteilte Sensorsysteme. Die enge Verzahnung von Grundlagenforschung, angewandter Entwicklung und industrieller Umsetzung ermöglicht einen schnellen Technologietransfer vom Labor in den Orbit. Kurze Innovationszyklen sichern die Reaktionsfähigkeit auf neue Bedrohungen, technologische Durchbrüche und regulatorische Anforderungen. Besonders für Multi-Domain-Intelligence-Ansätze ist diese interdisziplinäre Vernetzung entscheidend.

Auch sicherheitspolitisch spielt Bayern eine zentrale Rolle. LEO-basierte SIGINT-Fähigkeiten tragen wesentlich zur strategischen Autonomie Deutschlands und Europas bei. Eigene Systeme reduzieren Abhängigkeiten von außereuropäischen Anbietern, erhöhen die Resilienz kritischer Fähigkeiten und leisten einen Beitrag zu NATO- und EU-Operationen in Aufklärung, Frühwarnung und Lagebilderstellung. Vor dem Hintergrund hybrider Bedrohungen, wachsender elektromagnetischer Aktivitäten und Multi-Domain-Operationen ist eine leistungsfähige und resiliente SIGINT-Infrastruktur ein unverzichtbarer Bestandteil moderner Sicherheitsarchitekturen.

Um dieses Potenzial zu nutzen und Bayern als führenden europäischen Standort für LEO-SIGINT zu positionieren, ergeben sich mehrere strategische Handlungsfelder:

Stärkung von Kompetenzen und Innovation: Bayern sollte Entwicklungs- und Demonstrationsprogramme für LEO- und SIGINT-Technologien ausbauen, Technologiescouting entlang der gesamten Wertschöpfungskette betreiben und gezielte Förderinstrumente für Start-ups und KMU bereitstellen. Die enge Kooperation zwischen Industrie, Forschung und sicherheitsrelevanten Bedarfsträgern ermöglicht die schnelle Überführung von Innovationen in operationelle Systeme.

Aufbau einer LEO-Formationsinitiative: Eine strategische Formationsinitiative bündelt Industrie, Forschung und Bedarfsträger in einem koordinierten Rahmen und geht damit über ein klassisches Innovationsprogramm hinaus. Kleinsatelliten- und Demonstratormissionen, modulare SIGINT-Payloads, Schwarm- und Formationskonzepte sowie KI-gestütztes On-Board-Processing können unter realen Orbitbedingungen erprobt werden. So werden technologische Risiken reduziert, Kooperationen gestärkt und der Übergang vom Prototyp zur einsatzreifen Fähigkeit beschleunigt.

Fachkräftesicherung und Qualifizierung: Die langfristige Wettbewerbsfähigkeit hängt von hochqualifizierten Fachkräften ab. Bayern sollte spezialisierte Ausbildungs- und Weiterbildungsprogramme in den Bereichen Space Data Analytics, KI-gestützte Auswertung, RF-Engineering, elektromagnetisches Spektrummanagement sowie Orbital Intelligence Operations aufbauen. Kooperationen zwischen Hochschulen, Forschungseinrichtungen, Industrie und öffentlichen Bedarfsträgern sichern die erforderliche Expertise nachhaltig.

Förderung europäischer Souveränität und Kooperation: Bayern kann als technologisch starker Standort europäische Kooperationen im Bereich SIGINT vorantreiben, gemeinsame Projekte initiieren, interoperable Architekturen entwickeln und EU- bzw. NATO-Initiativen unterstützen. Ein vernetzter europäischer Ansatz reduziert Abhängigkeiten und erhöht die Resilienz sicherheitsrelevanter Fähigkeiten.

Nachhaltiges Orbitalmanagement und Resilienz: Der verantwortungsvolle Umgang mit dem Low Earth Orbit ist zentral für die langfristige Nutzbarkeit von SIGINT-Systemen. Bayern kann hier eine Vorreiterrolle übernehmen, indem Technologien zur Weltraummüll-beseitigung, orbitalem Traffic-Management, Space Situational Awareness sowie resiliente Satellitendesigns und End-of-Life-Konzepte gefördert werden. Nachhaltiges Orbitalmanagement erhöht die Sicherheit und Verfügbarkeit von SIGINT-Fähigkeiten und stärkt zugleich Bayerns Profil als verlässlicher und innovativer Raumfahrtstandort.

Durch die konsequente Umsetzung dieser Handlungsfelder kann Bayern seine industrielle Stärke, wissenschaftliche Exzellenz und strategische Relevanz bündeln und sich als führender europäischer Standort für LEO-SIGINT und Space Intelligence etablieren.

5 Fazit

Der Low Earth Orbit befindet sich inmitten einer tiefgreifenden technologischen und strategischen Transformation. Die zunehmende Kommerzialisierung des Weltraums, der rapide Ausbau von Satellitenkonstellationen und der Einsatz künstlicher Intelligenz verändern die Rahmenbedingungen satellitengestützter Signals Intelligence grundlegend. LEO ist damit längst nicht mehr nur ein technisches Experimentierfeld, sondern ein sicherheits- und industriepolitisch hochrelevanter Raum.

Moderne LEO-SIGINT-Fähigkeiten sind entscheidend für die sicherheitspolitische Handlungsfähigkeit Deutschlands und Europas. Sie ermöglichen resiliente Aufklärung, schnelle Lagebilder und Multi-Domain-Operations, reduzieren Abhängigkeiten von außereuropäischen Anbietern und stärken die strategische Autonomie. In einer zunehmend hybriden und vernetzten Welt sind sie ein zentraler Baustein zukunftsfähiger Sicherheitsarchitekturen.

Bayern verfügt über alle wesentlichen Voraussetzungen, um in dieser Entwicklung eine führende Rolle einzunehmen: eine starke industrielle Basis, ein exzellentes Forschungs- und Innovationsökosystem sowie eine gebündelte sicherheitsrelevante Expertise. Diese Faktoren bilden die Grundlage für souveräne LEO-SIGINT-Lösungen „Made in Bavaria“ und eröffnen Chancen für wirtschaftliche Innovation, technologische Exzellenz und strategische Einflussnahme.

Die Zeit zum Handeln ist jetzt. Nur durch koordinierte Investitionen in Schlüsseltechnologien, die Förderung von Start-ups und KMU, den gezielten Ausbau von Fachkräften sowie

durch europäische Kooperationen kann Bayern die Zukunft aktiv mitgestalten. Der Aufbau eigener LEO- und SIGINT-Fähigkeiten ist nicht nur eine technologische, sondern vor allem eine strategische Entscheidung – für Souveränität, Resilienz und Zukunftsfähigkeit.

Bayern kann diese Rolle übernehmen: als Innovationsmotor, als industrieller Ankerpunkt und als verlässlicher Partner für Deutschland und Europa im sicherheitsrelevanten Welt-raum. Die Weichen für die Zukunft der Space Intelligence müssen jetzt gestellt werden – die Aufholjagd im All wartet nicht.