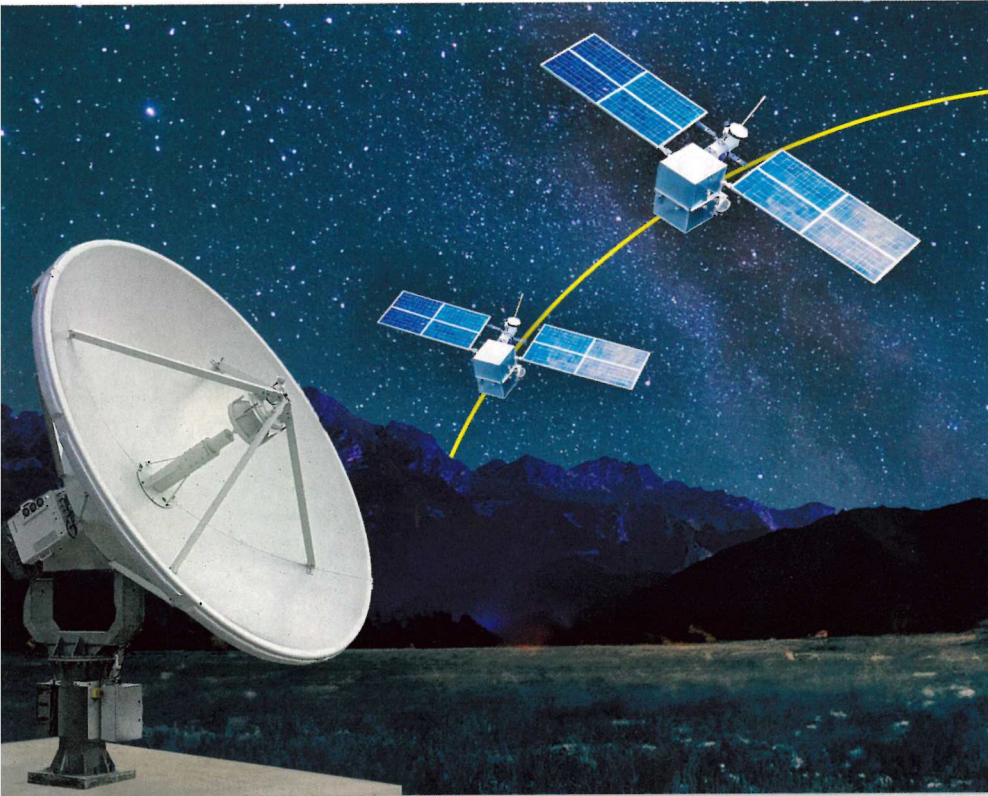


Sat-Steuerung und Datenkommunikation mit intradisziplinären Forschungsmodulen

## Bodenstations-Antennen für die LEO-Satellitenforschung

Full-Motion-Antenne für fortschrittlichen Satellitenkontakt: Die Bodenstation des Satellitenprojekts SeRANIS wird eine High-Tech-Antenne nutzen, welche dieser Beitrag näher vorstellt.



Satellitenkonstellationen im Low Earth Orbit (LEO) – also Satellitensysteme mit hundert bis zu tausenden Satelliten – erlangten in den letzten Jahren vielfach öffentliche Aufmerksamkeit. Seit dem Start der Satellitenkonstellation Starlink von Elon Musk kann nun auch das breite Publikum Breitband-Internet aus dem All nutzen.

Weitere Konstellationen werden derzeit entwickelt – von aktuell über 300 Unternehmen. Darunter weitere Internet-Systeme wie bei Starlink, Internet-of-Things-Applikationen oder zur Erdbeobachtung [1]. Die Politik spielt mit. So wurde dieses Jahr von der EU das Projekt IRIS2 initiiert, um die Cybersicherheit und Überwachung von Kerninfrastrukturen sowie zügiges Krisenmanagement zu ermöglichen [2].

### SeRANIS – Seamless Radio Access Networks and Internet of Space

Unter diesem Aspekt hat 2020 die Universität der Bundeswehr München (UniBw M) mit Unterstützung des dtcc.bw Zentrum für Digitalisierungs- und Technologieforschung der Bundeswehr das Projekt SeRANIS ins Leben gerufen [3]. Es wird eine system- und plattformübergreifende Architektur bieten, die Schlüsseltechnologien der Digitalisierung für Forschung und Industrie untersucht und demonstriert.

Autoren:  
Kevin Li  
(Universität der Bundeswehr)  
Jonathan Slattum  
(Kratos Antenna Solutions)  
Christian Heilmaier  
(Globes Elektronik)  
[www.globes.de](http://www.globes.de)

Das Kernstück hierbei ist ein in der Universität entwickelter Kleinsatellit, der über mehr als 15 intradisziplinäre Forschungsmodule verfügt. Diese umfassen u.a. Disziplinen der Satellitenkommunikation, der Navigation, der Laser-Kommunikation bis zur Materialforschung. Das Projekt dient somit als Plattform, um nicht nur neue Kommunikationsprotokolle für die Standardisierung von 6G im nicht-terrestrischen Bereich zu erproben, sondern auch die Demonstration von neuartigen Plasmaantrieben zur Ausrichtung des Satelliten zu ermöglichen.

Das Projekt SeRANIS ist in dieser Hinsicht ein Forschungslabor im All, an das sich Wissenschaftler aller digitalisierungsrelevanten Disziplinen forschend an koppeln können. Zugleich bietet SeRANIS Schnittstellen für Startups und Industrie, die neue Technologien im Verbund testen und demonstrieren wollen. In Rahmen einer deutschlandweiten Startup-Challenge wurden hierfür vier Gewinner nominiert, die nun Teil der Mission sind und ihre innovativen Ideen im Orbit ausprobieren und demonstrieren können.

Mit diesem Ansatz grenzt sich SeRANIS deutlich von anderen Kleinsatellitenprojekten in Deutschland ab, nicht nur hinsicht-

### Erkennung und Verfolgung von LEO-Satelliten

Um einen sicheren Betrieb im Weltraum zu gewährleisten und Kollisionen mit anderen Satelliten oder bekannten Trümmern zu verhindern, ist es wichtig, neugestartete Satelliten korrekt zu erkennen und zu verfolgen. Um die Satellitenbahnen eindeutig zu definieren, greift man auf ein von der NASA definiertes Format TLE (Two-Line Element) zurück, das ursprünglich für 80-Spalten Lochkarten entwickelt wurde. Die darin enthaltenen Ziffernblöcke umfassen alle notwendigen Parameter, um die Umlaufbahn eindeutig zu charakterisieren. Auf der Website <https://www.space-track.org> können die Bahnelemente von über 44.000 Objekten angesehen werden.





**Experimentalbodenstation, die um die Full-Motion-Antenne erweitert wird**

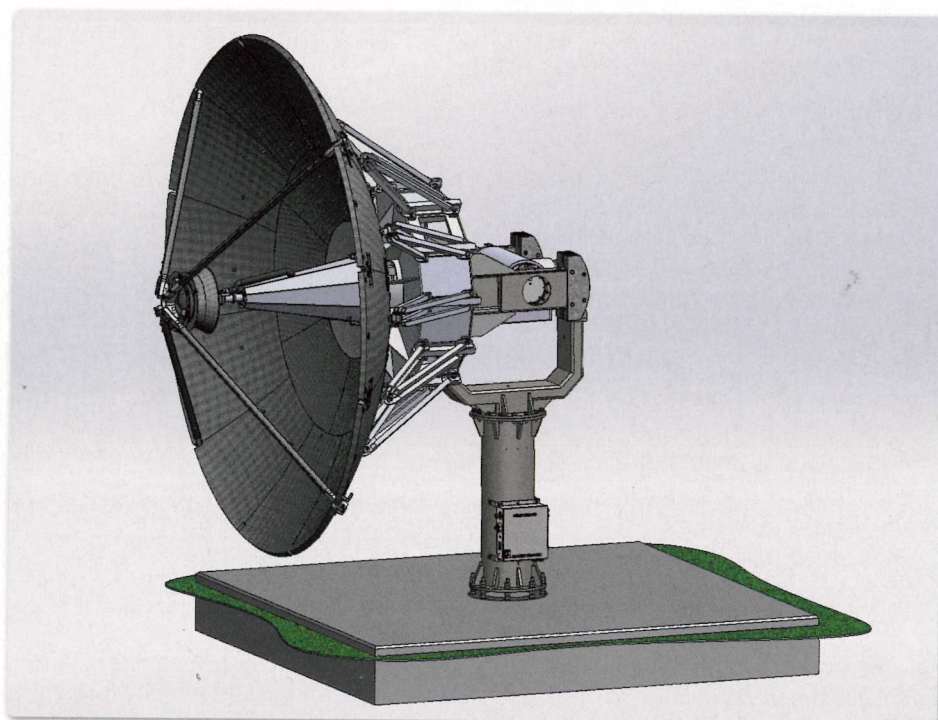
lich seiner Größe, sondern vor allem in der Breite an verschiedenen Experimenten. Der Satellit soll 2025 ins All gebracht und final in einem LEO in 550 km Höhe platziert werden. Dort dient er dann für die nächsten fünf Jahre als Plattform für Forschungs- und Demonstrationszwecke.

Bei SeRANIS geht es aber auch um die Einrichtung und Sicherung einer zugehörigen Bodenstation. Dafür wird die bestehende Infrastruktur der Experimentalbodenstation auf dem Gelände der UniBw M erweitert. Aktuell verfügt die Station über

### Die Gregorian-Optik

„Das Gregory-Teleskop, auch Gregorianisches Teleskop, ist ein Spiegelteleskop, das von James Gregory 1663 erfunden ... wurde – wenngleich die von ihm hergestellten Spiegel nicht befriedigend waren. ... Im Gegensatz zum Cassegrain-Teleskop wird ein konkaver Sekundärspiegel jenseits des Primärfokus benutzt, der das Bild durch eine zentrale Öffnung im Primärspiegel in den Sekundärfokus wirft. ... Ein Grund für die Wahl der Gregory-Bauform ist, dass man ohne Ausbau des Sekundärspiegels auf den Primärfokus zugreifen kann. Ein Beispiel hierfür ist das Radioteleskop Effelsberg. Nachteile gegenüber einem vergleichbaren Cassegrain-Teleskop sind der größere Fangspiegel, die dadurch stärkere Obstruktion und der längere Tubus, der nicht nur windanfälliger ist, was eine stabilere Montierung erfordert, sondern eventuell auch eine größere Kuppel nötig macht.“

Wikipedia



Kapazitäten in unterschiedlichen Bändern von VHF/UHF, über das S-, C-, X-, Ku- bis zum Ka-Band und deckt damit alle relevanten Frequenzen für die Satellitenkommunikation ab. Im Rahmen von SeRANIS wird die Experimentalbodenstation nun um eine Laser-Bodenstation sowie eine Full-Motion-Antenne (FMA) des Herstellers Kratos erweitert. Eine FMA ist vollbeweglich in allen Achsen. Diese vollbeweglichen Antennensysteme sind in Konfigurationen mit vier oder zwei Motorantrieben, mit oder ohne Gegengewichte möglich. Bei der Viermotoren-Konfiguration werden vier Drehkranzlager für alle vier Achsen (zwei Elevations- und zwei Azimutachsen) eingesetzt.

### Anforderungen an die FMA

Für die Antenne der Bodenstation ergeben sich die folgenden Anforderungen:

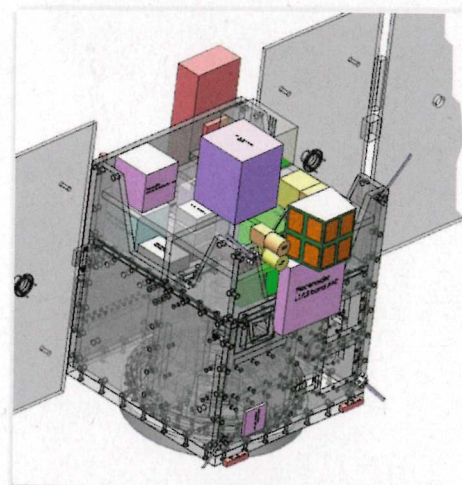
- Die Frequenzen für das X- und das Ka-Band müssen für den Sende- und Empfangsbetrieb unterstützt werden. Dies gilt für beide zirkuläre Polarisationsarten LHCP und RHCP.
- Für einen Einsatz auch über das SeRANIS-Projekt hinaus soll es möglich sein, die Antenne auf LEO-, MEO- und GEO-Satelliten auszurichten bzw. nachzuführen. Dazu werden die gängigen Verfahren Step Track, Model- oder Predictive Track, Two-Line Element Track (TLE) und TLE plus Step Track gefordert. Zusätzlich wird für das Ka-Band noch Monopulse-Tracking verlangt.

Die Uni Bw hat sich für eine X/Y-Aufhängung des Reflektors entschieden, da

eine herkömmliche Elevation-über-Azimut-Konstruktion mit überfliegenden LEO- und MEO-Satelliten bauartbedingt überfordert wäre. Im Augenblick des Überflugs müsste bei einer Elevation von 90° der Azimut um 180° gedreht werden, was so nicht realisierbar ist. Eine Kardanaufhängung hingegen kommt mit dieser Betriebssituation problemlos zurecht.

### Herausforderungen bei der Entwicklung

Kratos Antenna Solutions (KAS) verwendet eine 4-m-Reflektor-Segmentantenne mit einer kompakten Gregorian-Optik, montiert auf einer Kratos-XY-Aufhängung und einer Steuerung der nächsten Generation. Dieses Antennenterminal ist multi-orbit-fähig, mit vielen unterschiedlichen Möglichkeiten der Satellitennachführung.

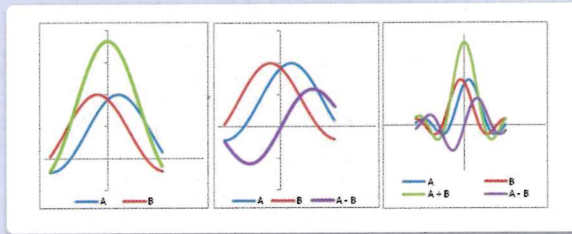


**Ein Modell vom Satelliten Athene-1 des Projekts SeRANIS**



## Das Monopulse-Tracking-Verfahren

Monopulse-Tracking ist eine zuverlässige Nachführungsmethode, die vor allem angewandt wird, wenn es um eine hohe Präzision geht. Es basiert auf dem Prinzip, dass die Signalstärke eines Satelliten von der Richtung abhängt, in der er empfangen wird. Hierzu wird das Beacon-Signal des Satelliten über vier Empfangselemente ausgewertet. Das Summensignal aller Elemente repräsentiert die Gesamtsignalstärke; das Differenzsignal der gegenüberliegenden Elemente repräsentiert den Winkelfehler.



Bildquelle: Earth Station Tutorials

Durch die Analyse des Differenzsignals kann die Antenne nachgeführt werden, um den Satelliten zu verfolgen.

Dieses Verfahren wird angewandt, wenn es um eine hohe Präzision der Nachführung geht.

Die Bauweise erlaubt es dem Terminal, simultan in den Bändern 7,85...8,5 GHz (X-Band), 17,2...21,2 GHz (Ka-Band Rx) und 29...31 GHz (Ka-Band Tx) mit jeweils umschaltbarer Polarisierung zu arbeiten. Diese vielfältigen Möglichkeiten führten zu zahlreichen konstruktiven Herausforderungen innerhalb des Projekts.

Eine davon ist die Entwicklung eines 12-Port-X-Ka-Band-Feeds mit Monopulse-Fähigkeit, welches die strengen Anforderungen hinsichtlich der elektrischen Leistungsfähigkeit erreicht. Dazu holte KAS die Firma Spacetime Engineering an Bord. Die kompakte Gregorian-Optik zwingt zu einem Kompromiss zwischen Richtcharakteristik und Breitbandleistung.

Die Vereinbarkeit dieser unterschiedlichen Herausforderungen erlaubt sowohl einen militärischen Sende- und Empfangsbetrieb als auch einen reinen kommerziellen Empfangsbetrieb. Hierfür ein deckungsgleiches Phasenzentrum für alle Frequenzbänder mit einer optimalen Effizienz zu erzielen, ist nur mit der jahrzehntelangen Erfahrung möglich, die KAS und Spacetime Engineering besitzen.

Wenn diese Aufgabe erfüllt ist, kann die Position des Subreflektors einmal einstellt werden, um dabei die maximale Effizienz für alle Bänder in diesem System zu erreichen.

Eine weitere Herausforderung für KAS bestand darin, all die für den Außenbereich

## Was ist ein Subreflektor?

„Gregory-Antennen haben, ähnlich wie Cassegrain-Antennen, einen Subreflektor. Dieser Subreflektor ist ellipsoid konvex geformt und besitzt zwei Brennpunkte. Der eine Brennpunkt dieses Ellipsoids fällt mit dem Brennpunkt des Paraboloids zusammen und liegt zwischen beiden Reflektoren, der zweite Brennpunkt befindet sich an der Stelle, an der der Erreger sitzt, meistens in einem Loch im Zentrum der Parabolfläche.“

Wikipedia

geeigneten Komponenten und Gerätschaften in einem kleinen Bauraum von 90 x 90 x 50 cm unterzubringen.

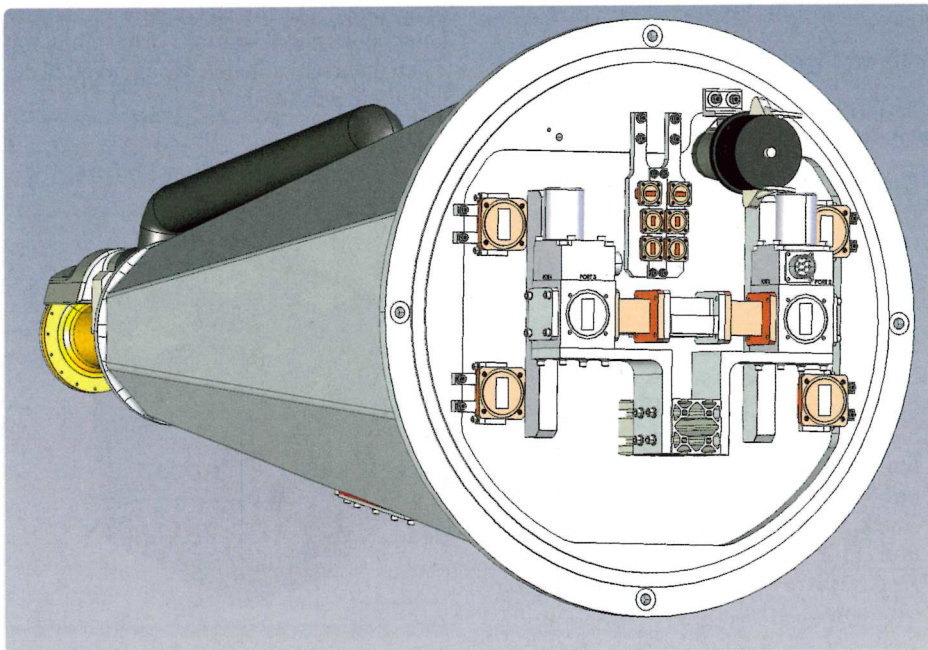
Für das Ka-Band sind das drei Empfangsverstärker, zwei 4-Kanal-Frequenzwandler, ein Tracking-Quadband-Dualblock-Down-Konverter, ein 200-W-Solidstate-Leistungsverstärker mit eingebautem Frequenzwandler

## Satellitenumlaufbahnen GEO, LEO und MEO

Satelliten in einer geostationären Umlaufbahn (GEO) umkreisen die Erde von West nach Ost in einer Höhe von 35.786 km über dem Äquator in der exakt gleichen Rotationsgeschwindigkeit. Dies lässt die Satelliten auf einer festen Position über der Erde erscheinen. Daher ist sie für Kommunikationssatelliten geeignet, die von der Erde aus mit feststehenden Antennen erreicht werden können. Allerdings geht eine lange Latenz (Signalverzögerung) und Signaldämpfung einher. Um die gesamte Erdkugel (außer den Polkappen) abzudecken, würden 3 Satelliten ausreichen.

LEO-Satelliten in einer Höhe bis zu 2000 km haben die niedrigste Latenz und Signaldämpfung, aber es werden die meisten Satelliten benötigt, um die eine vollständige Abdeckung zu erreichen. Anders als GEO-Satelliten können sie sich auf beliebigen Bahnen bewegen. Hauptsächlich werden sie zur Erdbeobachtung (z.B. TerraSAR-X), zur Weltraumforschung (z.B. ISS) oder für das Internet (z.B. Starlink, Oneweb) genutzt.

Satelliten im mittleren Erdbereich (MEO) stellen einen Kompromiss zwischen GEO und LEO dar und dienen verschiedenen Anwendungen (z.B. Satellitennavigation GPS, Glonass Galileo).



Komponentenanordnung auf der größeren Fläche des „Kegels“



## SNMP (Simple Network Management Protocol)

SNMP gehört zu einer Internet-Protokollfamilie zur Netzwerkverwaltung. Es wurde entwickelt, um Netzwerkelemente (z.B. Router, Server, Switches) von einer zentralen Station aus überwachen und steuern zu können. Das Protokoll regelt dabei die Kommunikation zwischen den überwachten Geräten und der Überwachungsstation. SNMP wurde dabei so ausgelegt, dass jedes netzwerkfähige Gerät mit in die Überwachung aufgenommen werden kann. Fehlererkennung und Fehlerbenachrichtigung sind möglich. Durch seine Einfachheit, Modularität und Vielseitigkeit hat sich SNMP zum Standard entwickelt, der sowohl von vielen Management-Programmen als auch von Endgeräten unterstützt wird.

und alle Bedienelemente zur Polarisationsumschaltung und Signalüberwachung, wie Richtkoppler.

Für das X-Band integrierte KAS vier rauscharme Block-Down-Verstärker, einen 100-W-Halbleiterverstärker mit eingebautem Block-Up-Wandler und alle erforderlichen MUX-T-Stücke sowie die Komponenten zur Schalt- und Signalüberwachung mit Richtkopplern.

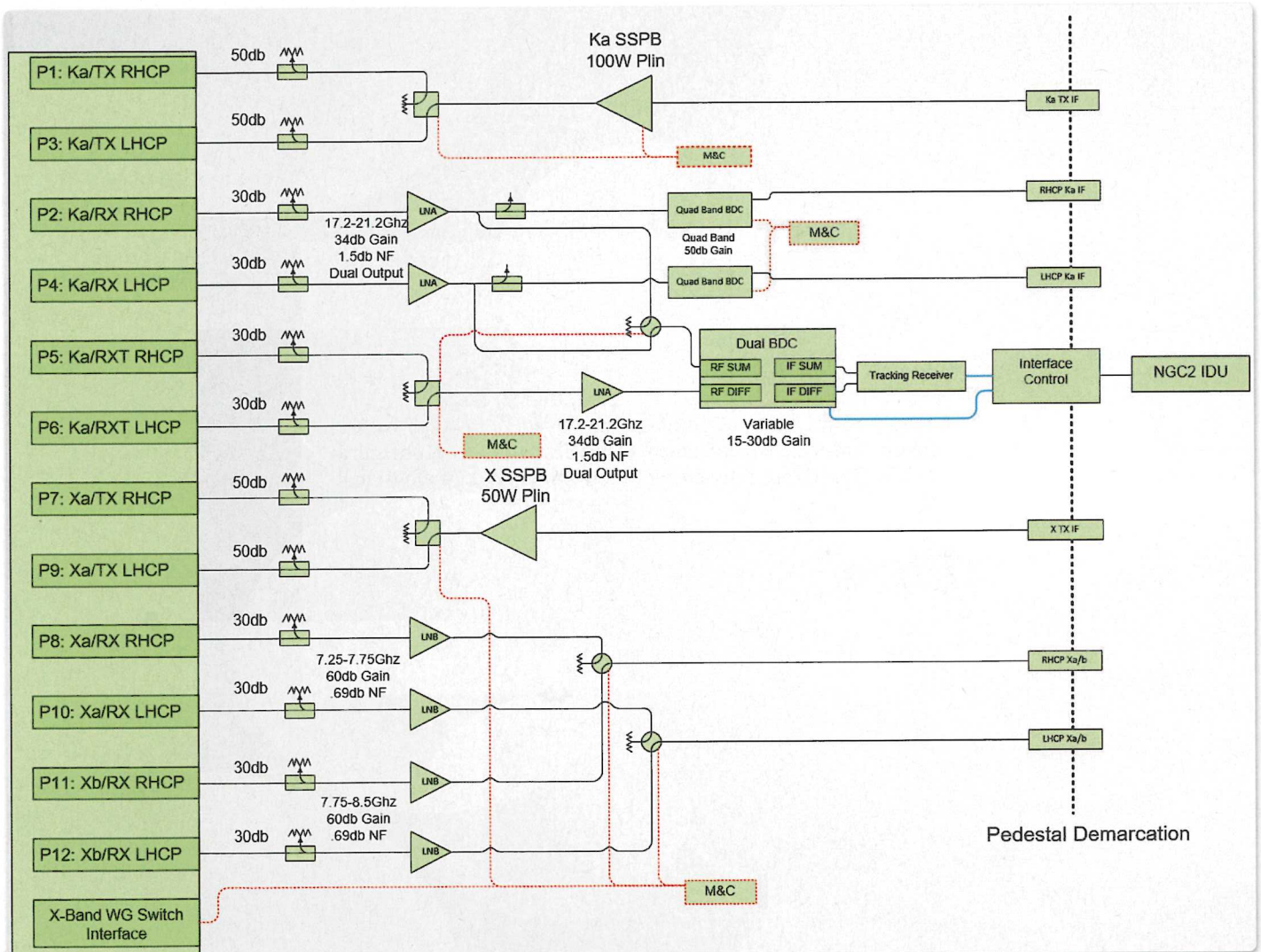
Um all diese Module und Geräte in genannten begrenzten Volumen unterzubringen, war große Kreativität gefragt. Es ging schließlich nicht nur um die einfache Platzierung, sondern auch darum, alle Komponenten und Geräte optimal anzuschließen, die Signale bestmöglich zu leiten und zudem eine X- und Y-Drehkupplung möglich zu machen. Weiterhin war zu berücksichtigen, dass die Geräte gewartet werden sollen und dazu möglichst leicht zugänglich sein müssen.

Alle Signale der HF-Geräte werden in der zweiten Generation des KAS-Controllers konsolidiert, um eine nahtlose Integration in das M&C-System unter Verwendung von SNMP zu ermöglichen.

Die Design-Phase der Antenne ist bereits abgeschlossen und befindet sich zurzeit in der Produktion. Die Fertigstellung und Inbetriebnahme ist im Sommer 2024 geplant. Wir werden über die fertige Antenne und erste Ergebnisse der Inbetriebnahme hier berichten.

## Referenzen

- [1] NewSpace Index, <https://www.newspace.im/>
- [2] European Commission, IRIS2: the new EU Secure Satellite Constellation, [https://defence-industry-space.ec.europa.eu/eu-space-policy/iris2\\_en](https://defence-industry-space.ec.europa.eu/eu-space-policy/iris2_en)
- [3] SeRANIS-Homepage, <https://seranis.de/> ◀



Das Blockschaftbild des Antennenspeisenetzwerkes lässt die Komplexität dieses Antennensystems erkennen.