

# EIN OTTER AUF DEM WEG ZU RESPONSIVE SPACE

D. Freiknecht <sup>(1)</sup>, M. Lehmann <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Kompetenzzentrum für Reaktionsschnelle Satellitenverbringung (RSC<sup>3</sup>), Eugen-Sänger-Straße 50, 29328 Faßberg, Deutschland

<sup>(2)</sup> Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Kompetenzzentrum für Reaktionsschnelle Satellitenverbringung (RSC<sup>3</sup>), Rutherfordstraße 2, 12489 Berlin, Deutschland

## Zusammenfassung

Die Abhängigkeit von weltraumgestützter Infrastruktur für Navigation und Kommunikation auf See sowie an Land, ist so groß wie nie zuvor und bietet ein signifikantes Beispiel dafür, dass der Ausfall eines Satelliten, der diese Funktionen bereitstellt, weitreichende Folgen für zivile und militärische Endnutzer haben kann. Mit steigender Wahrscheinlichkeit, dass eine Kollision, ein technischer Defekt oder gar ein Angriff auf diese Weltrauminfrastruktur stattfinden kann, bekommt der Schutz dieser kritischen Infrastrukturen im Weltraum eine immer höhere Priorität.

Hier kommen die „Responsive Space Capabilities“ ins Spiel, die beinhalten, eine raumgestützte Fähigkeit reaktionsschnell zur Verfügung stellen zu können, wenn ein zeitkritischer Bedarf anfällt. Die Ansätze, um einen solchen generischen Bedarf zu decken, unterscheiden sich stark in ihrem Realisierungszeitraum. So gibt es Fähigkeiten, die mit bereits bestehenden Satelliten im Orbit innerhalb weniger Stunden realisiert werden können, aber auch Fähigkeiten, die erst noch am Boden entwickelt, integriert und dann erfolgreich in den Weltraum verbracht werden müssen. Letzterer Ansatz erfordert nach aktuellen Vorgehensweisen für vollwertige, langlebige Fähigkeiten jahrelange Entwicklungszeiten, weil Raumfahrtvorhaben von sehr herausfordernder und kostspieliger Natur sind. Alternative, möglicherweise weniger langlebige, aber dafür schneller zu realisierende (Teil-) Fähigkeiten sind aktuell auf dem Kleinsatellitenmarkt immer öfter vertreten, ihr Mehrwert für die Aufgabe Responsive Space muss aber noch analysiert und bewertet werden.

Als erster Schritt für die Analyse, Forschung und Entwicklung auf dem Weg zu dieser Responsive Space Fähigkeit hat das Responsive Space Cluster Competence Center (RSC<sup>3</sup>) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) eine Forschungsinfrastruktur in Trauen aufgebaut. In diesem Responsive Space Research and Technology Center (RSTEC) finden Experimente zu schnellen Integrationsprozessen von Nutzlasten auf modulare Satellitenplattformen, sowie Verifikations-, Einlagerbarkeits- und Reaktivierbarkeitstests von Kleinsatelliten (-komponenten) statt. Teil dieser Experimente ist die erste Kleinsatellitenmission des RSC<sup>3</sup> „OTTER“ (Optical Traffic Tracking Experiment for Responsive Space), um die es in dieser Publikation geht.

Die Kleinsatellitenmission OTTER umfasst die Planung, Integration, Erprobung, den Start und den Betrieb eines Kleinsatelliten in Zusammenarbeit mit Industriepartnern. Während dieser Phasen werden aktuelle Fähigkeitslücken im Bezug zu Responsive Space ermittelt und Forschungsbereiche zur Erhöhung der Flexibilität, Modularität und Entwicklungsgeschwindigkeit in Raumfahrtprozessen für das Start-, Boden- und Raumsegment abgeleitet.

Als operationelle Primäraufgabe für den OTTER wurde vom RSC<sup>3</sup> der Bedarf der Verbesserung des maritimen Lagebilds festgelegt, da dies ein international weit verfolgtes, sicherheitsrelevantes Thema ist und es ein sinnvolles Beispiel für einen zeitnah zu deckenden Bedarf bietet. Der Satellit nimmt dazu Signale von kooperativen Schiffen auf und macht zusätzlich optische Bilder des Senderquellengebiets. Diese Daten werden dann bodengestützt miteinander abgeglichen. Für die Orbitverbringung Ende 2023 wird ein Mikrolauncher zum Einsatz kommen, der den Satelliten auf einem sehr niedrigen, elliptischen Erdorbit (VLEO) aussetzt. Um die Lebensdauer des Kleinsatelliten zu erhöhen, werden zwei weitere für Responsive Space wichtige Konzepte demonstriert: Die beschleunigte Inbetriebnahme durch eine schnelle Kommissionierung des Satelliten und die Agilität auf dem Orbit durch eine Orbiterhöhung auf den niedrigen Erdorbit (LEO). Zusammen mit der Einbringung der Mission in internationale Kooperationen wird OTTER einen wichtigen Beitrag zu der Erforschung von Responsive Space und der maritimen Lageaufklärung beitragen.

## Schlüsselwörter

Responsive Space, Kleinsatelliten, AIT, Maritime Aufklärung

### 1. AUFGABE UND BEDARF VON RESPONSIVE SPACE

Responsive Space beschreibt die reaktionsschnelle Bereitstellung weltraumgestützter Fähigkeiten im Bedarfsfall. Was in diesem Fall "reaktionsschnell" bedeutet, hängt vom Bedarf und von den Nutzern ab. Die Europäische Union nennt 2023 im Zusammenhang des Calls REACTS (Responsive European Architecture for Space) einen Zeitraum von 72 Stunden für folgende Fähigkeit: „[...] a resilient and scalable Network of Responsive Space Systems (RSS), fully interoperable, able to launch satellites and commence data delivery“. [1] Üblicherweise sind das aktuell noch mindestens 9 Monate oder sogar mehrere Jahre, die für eine Nutzlast- und Satellitenentwicklung, bis zur Inbetriebnahme aus dem Orbit vergehen. Die Bedarfe sind unterschiedlicher Natur, da eine Beschleunigung der Reaktion jedoch mit erhöhten Kosten verbunden ist, stammen sie eher aus Krisenfällen wie beispielsweise dem Katastrophenschutz oder der Sicherheit. [2] Eines haben die überfüllten Orbits, kosmische Strahlung, Komponentenfehler, ASAT-Waffen (Anti-Satelliten) und Cyber-Angriffe alle gemeinsam: Sie sind nur einige von vielen Bedrohungen für bestehende weltraumgestützte Systeme. Sei es durch natürliche Ursachen wie Sonneneruptionen, aktive menschliche Ursachen wie Angriffe oder passive menschliche Ursachen wie Kollisionen mit Weltraummüll. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Satellit ausfällt, steigt nicht nur mit seinem Alter, sondern auch mit diesen zunehmenden Bedrohungen und der Population im Weltraum [3]. Genauso steigt demnach der Bedarf diese Infrastruktur im Weltraum zu schützen, zu erweitern oder wiederherstellen zu können.

Die Vorteile einer schnell realisierbaren Fähigkeit sind weitreichend: Es wird eine Steigerung der Resilienz und der Abschreckung bewirken und die Möglichkeit eröffnen, eine rollierende Satellitenflotte zu verwirklichen, die mit jeder neuen, weniger langlebigen Satelliteniteration state-of-the-art Technologien nutzen kann. Responsive Space denkt dabei eine Vernetzung aller neuen Systeme mit, um neue Multi-Sensor Fähigkeiten zu schaffen und Interoperabilität, sowie geteilten Betrieb zu ermöglichen.

Doch nicht nur die Infrastruktur im Weltraum gilt es für die Responsive Space Capabilities zu betrachten: Auch das Startsegment für die aktuell häufig ausgebuchten Raketenstarts von der Erde aus gilt es resilienter und flexibler zu gestalten, um einen plötzlich anfallenden Bedarf rapide decken zu können. Zusätzlich ist das Bodensegment, welches den Betrieb vieler Satellitenmission von möglichst vielen Bodenstationen aus bewältigen muss, ein entscheidender Faktor in der Kette zur Verwirklichung einer solchen Fähigkeit. Bezüglich dieser Thematik, den verbundenen technologischen, organisatorischen, rechtlichen und operativen Herausforderungen forscht, analysiert und bewertet das Responsive Space Cluster Competence Center (RSC<sup>3</sup>) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR).

### 2. FORSCHUNG, ANALYSE UND BEWERTUNG DURCH REALE SATELLITENMISSION

Herauszufinden, wie die Zeitspanne von der Nachfrage bis zu ihrer Erfüllung verkürzt werden kann, und die notwendige Technologiebasis für die praktische Forschung zu Responsive Space Capabilities aufzubauen, ist eines der Ziele des Responsive Space Cluster Competence Center. So steht im Journal des JAPCC vom Sommer 2021: "Ein wesentliches Element für das RSC<sup>3</sup> wird die Einbindung von Nutzern und Industrie bereits in den Forschungs- und Entwicklungsprozess (F&E) sein. Das RSC<sup>3</sup> übernimmt in Deutschland eine koordinierende Rolle mit dem Ziel, den technologischen Erneuerungszyklus deutlich zu beschleunigen. Dazu ist es notwendig, laufende Technologiedemonstrationen durchzuführen und einen regelmäßigen Technologietransfer aus der Forschung in die Industrie zu gewährleisten, um die neuesten Produkte nach dem Stand der Technik [...] im Weltraum zu betreiben. [4]

Um also effizient in die Forschung, Analyse und Bewertung der aktuellen „responsiven“ Satellitenentwicklung einzutauchen und nicht nur Konzeptstudien zu produzieren, werden Forschungsinfrastruktur und reale Entwicklungsbeispiele benötigt. Als Infrastruktur hat das RSC<sup>3</sup> am Standort in Trauen das Responsive Space Research and Technology Center (RSTEC) aufgebaut. Dies ist eine Forschungshalle mit Reinraumlaboren und Testanlagen für hardwarenahe Forschung des RSC<sup>3</sup>-Weltraum- und Bodensegments Abbildung 1.



Abbildung 1: Das Responsive Space Research and Technology Center in Trauen (RSTEC)

Bei der Auslegung der Halle, der Labors und den Testanlagen, wurden speziell die Themen modulare und offene Satellitenplattformen, Assembly, Integration & Testing, sowie Lagerung und Reaktivierung bedacht. Diese Themenkomplexe sollen anhand von Kleinsatelliten untersucht werden.

Dafür werden die vier Labore

- Thermal Testing,
- Mechanical Testing,
- Operational Testing und
- Assembly & Integration

eingerrichtet.

Alle Labore sind mit Schleusen und Belüftungen für ISO8 Reinraumbedingungen ausgestattet. Lokal wird bei Bedarf die Reinraumklasse durch Laminar Flow Boxen verbessert. Das mechanische Labor ist dabei von den anderen Reinräumen getrennt, um hier einfacher eine Insel mit geringerer Reinraumklasse betreiben zu können und bei mechanischen Tests die anderen Labore nicht zu beeinträchtigen. [2]

Als reales Entwicklungsbeispiel, welches in kurzer Zeit den Satellitenentwicklungsprozess bis hin zur operationellen, experimentellen Fähigkeit durchlaufen soll, dient die erste Kleinsatellitenmission vom RSC<sup>3</sup>: Die Mission MSAE-OTTER (Maritime Situationale Awareness Experiment) mit dem Satelliten OTTER (Optical Traffic Tracking Experiment for Responsive Space), die im Folgenden als OTTER bezeichnet wird (Abbildung 2).

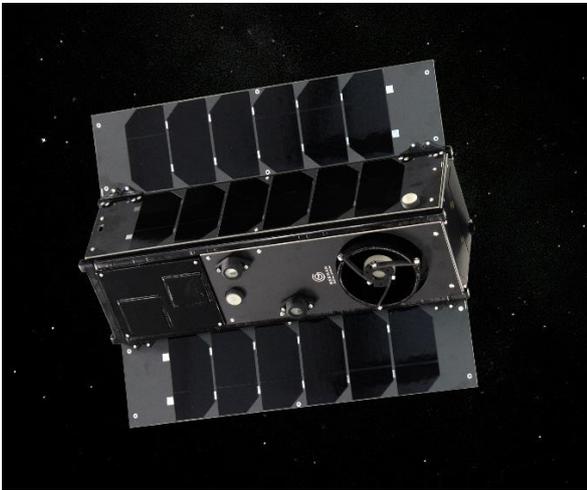


Abbildung 2 Der Nanosatellit OTTER

Als experimenteller, reaktionsschnell zu erfüllender Bedarf hat sich das RSC<sup>3</sup> für die Erweiterung des maritimen Lagebilds entschieden, da dies ein realistisches Szenar für einen Katastrophen- oder Verteidigungsfall darstellt. Zu diesem Zweck soll der Satellit mit einer optischen Kamera und einem AIS Receiver (Automatic Identification System) als Primärnutzlasten ausgestattet werden, um Schiffssignale empfangen und deren Position lokalisieren bzw. verifizieren zu können. Die Kombination von Datenempfang und optischer Überprüfung auf der selben Satellitenplattform, einschließlich ihrer Quellen, ist ein interessantes Konzept für künftige Raumfahrzeuge, da es einen unabhängigen, sicheren und schnellen Zugang zu Lageinformationen in maritimen Regionen für den Nutzer bietet.

Für diesen Aufklärungsbedarf kooperiert das RSC<sup>3</sup> mit dem DLR-Institut für den Schutz maritimer Infrastrukturen, dass die Existenz mehrerer relevanter Beobachtungsszenarien bestätigt hat: Schiffe in Seenot, Ölverschmutzungen, illegale, nicht gemeldete, unregulierte (IUU) Fischerei oder Schmuggelaktivitäten, die von Satelliten AIS-Empfängern und Kameras erkannt und gemeldet werden können [5]. Hochfrequentierte Gebiete, wie der Ärmelkanal, weisen

nachweislich ein häufiges Auftreten solcher Szenarien auf. [6]

Da es sich um ein wissenschaftliches Experiment handelt, wurde sich um Kosten zu reduzieren für einen standardisierten Satellitenformfaktor, einen sogenannten 3U-CubeSat entschieden. Dabei steht ein „U“ (Unit) für eine Würfel-Einheit mit einheitlichen Kantenlängen von 10 cm. Damit ist der Satellit nicht wesentlich größer als 10 cm \* 10 cm \* 30 cm. Ein weiterer Kostentreiber bei einer Satellitenmission ist der Platz auf einer Rakete, um den Orbit zu erreichen. Das Weltraumsegment des RSC<sup>3</sup> hat deshalb 2022 den Aufschwung der deutschen Mikrolauncher genutzt und sich beim Nutzlastwettbewerb des Erstflugs auf der Spectrum Rakete von ISAR Aerospace beworben und mit OTTER einen kostenfreien Platz an Board dieser Rakete gewonnen. [7]

Um abzuschätzen, wie lange die Entwicklung eines solchen Satelliten derzeit industriell dauert und wie dieser Zeitrahmen weiter verkürzt werden kann, forderte das RSC<sup>3</sup> Anfang 2022 die europäische Industrie im Rahmen einer Ausschreibung auf, eine schlüsselfertige 3U-CubeSat-Lösung zu liefern, die die Anforderung erfüllt, im vierten Quartal 2022 mit dem Erstflug der Spectrum-Rakete von ISAR Aerospace zu starten. Das bedeutet einen für heutige Verhältnisse sehr kurzen Zeitrahmen von 9 Monaten für die Lieferanten, um die Flugbereitschaft nach Planung, Zusammenbau, Integration, Prüfung und Transport des Satelliten zum Startplatz zu erreichen und anschließend den Launch und nach Auswurf des Satelliten aus der Rakete im Orbit die Inbetriebnahme des Satelliten zu gewährleisten. Auch wenn der Erstflug kürzlich auf das vierte Quartal 2023 verschoben wurde, bleibt der im Vertrag mit dem Satellitenlieferanten festgelegte Zeitplan unverändert. Dies bedeutet, dass der Satellit fast ein ganzes Jahr vor dem Start flugbereit sein wird. Während dieser Zeit wird die Lagerung des bereits getesteten, flugbereiten Satelliten als Forschungsszenario für Responsive Space Capabilities genutzt, um herauszufinden, ob Satelliten, insbesondere ihre Batterien, nach einer gewissen Zeit der Alterung am Boden gelagert werden können oder ersetzt werden müssen und dann schnell reaktiviert werden können. Zusätzlich wird der OTTER auf dem Lageregelungsteststand, welcher Teil der RSTEC ist, getestet. Dort soll festgestellt werden, ob das Lageregelungssystem des Satelliten in der Lage ist, das Taumeln nach dem Auswurf aus der Rakete zu kompensieren und seine Ausrichtung der Kamera in Richtung Erde zu erreichen.

Das folgende Bild zeigt den Aufbau des 3D-Druck Modells auf den Lageregelungsteststand in Trauen, um den Testprozess, der später mit der Flughardware durchgeführt wird zu veranschaulichen:

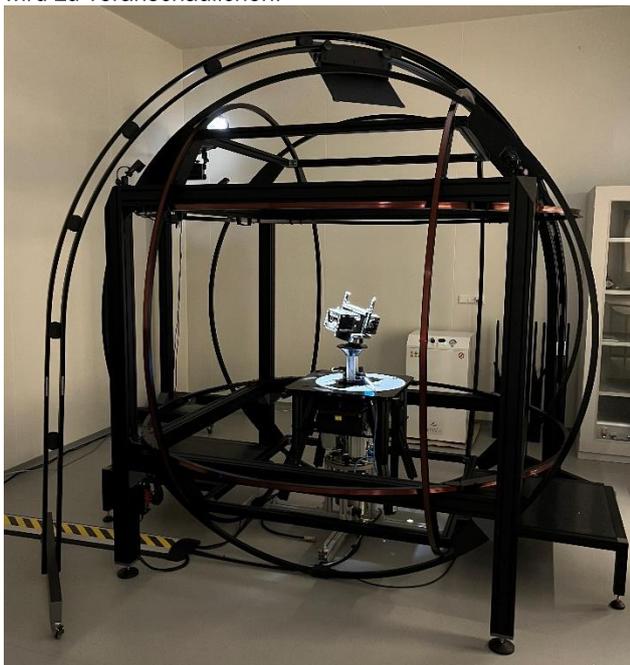


Abbildung 3 OTTER im Lageregelungsteststand

Um die Flughardware des OTTERs für den Realfall testen zu können, wird die Halterung des Lageregelungsteststands angepasst werden müssen, da die ausklappbaren Solarpaneele über die Haltevorrichtung hinausgehen. Für den Responsive Space Anwendungsfall muss diese Halterung entsprechend flexibel für verschiedene CubeSat Größen gestaltet werden, um jeglichen Konstruktionsaufwand vor Meldung eines Bedarfs zu beseitigen und problemlos Satelliten einfassen zu können. Viele solcher Kniffe, die flexibles Handling von Komponenten im Satellitenentwicklungsprozess ermöglichen, summieren sich zu mehreren Tagen, wenn nicht Wochen an Zeiteinsparung auf und können sehr gut am realen Beispiel in die Forschung aufgenommen werden: Einheitliche Montageplatten auf räumlich verknüpften Umgebungstestständen wie der Thermal-Vakuumkammer, der Schwingprüfanlage oder dem Lageregelungsteststand ersparen Transport- und Montageaufwand, Reduzierung von langen Testzyklen oder der Einsatz von bereits vorgetesteten Komponenten können wochenlanges Testen ersparen. Zu Einarbeitungs- und Übungszwecken für die neuen Testanlagen ist ein günstiges 3D-Druckmodell, wie in Abbildung 3 dargestellt, eine sichere Variante, um auf den Ernstfall vorzubereiten und wird auch bei weiteren Responsive Space Missionen zum Einsatz kommen.

### 3. DER SATELLIT OTTER

Die europaweite Ausschreibung für die schlüsselfertige 3U-CubeSat Mission OTTER gewann German Orbital Systems aus Berlin. Dabei ist zu erwähnen, dass in einem reaktionsschnellen Bedarfsfall das RSC<sup>3</sup> im Idealfall auf eine Lagerhaltung von modularen Satellitenplattformen und Komponenten zurückgegriffen wird anstelle von langwierigen Beschaffungsprozessen. In einem beschleunigten Missionsauslegungsprozess einigten sich das RSC<sup>3</sup> mit dem Satellitenhersteller auf

folgende technische Satellitenlösung, die alle Anforderungen aus der Leistungsbeschreibung der Ausschreibung erfüllt:

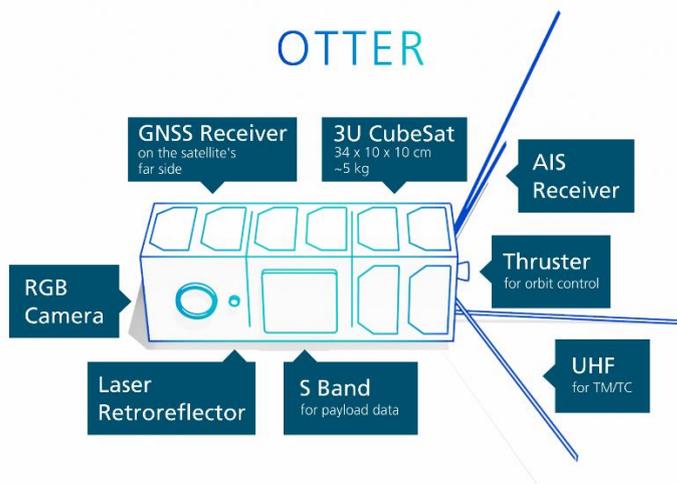


Abbildung 4 Komponenten des OTTER Satelliten

Für die Lage- und Orbitkontrolle des Satelliten werden Sonnensensoren, Magnetometer, Kreisel, ein Star Tracker und ein GNSS-Empfänger (Global Navigation Satellite System) an Bord sein. Als Aktuatoren werden Magnetorquer und ein Reaktionsradsystem installiert. Mit diesen Elementen soll eine Ausrichtungsgenauigkeit von 1° erreicht werden, sodass die Kamera auch größere Schiffe und deren Kielwasser zuverlässig anvisieren und fotografieren kann. Die optische Kamera soll eine Bodenpixelauflösung (GSD: Ground Sampling Distance) von etwa 10m aus dem 350 km niedrigen Erdborbit erreichen, wenn die Kamera Nadir-ausgerichtet ist. Durch die den Fehler in der Lagekenntnis von 0,6° ergibt sich eine maximale Abweichung von 1,83 km zwischen dem tatsächlichen Aufenthaltsort des Schiffes und der mittels Bild, Satellitenhöhe und Orbitalposition errechneten Position. In Abbildung 5 sind die Fehlerkreise und die Größe der Bilder, die der Satellit aufnimmt dargestellt. Die orange eingekreiste Detailansicht hat die Größe des ±1,83 km Fehlerkreises und zeigt zwei Schiffe mit den 10 m Bodenpixelauflösung des Satelliten. Allein die Daten der Lageregelung reichen nicht aus, um die empfangenen AIS Daten den Schiffen zuzuordnen.

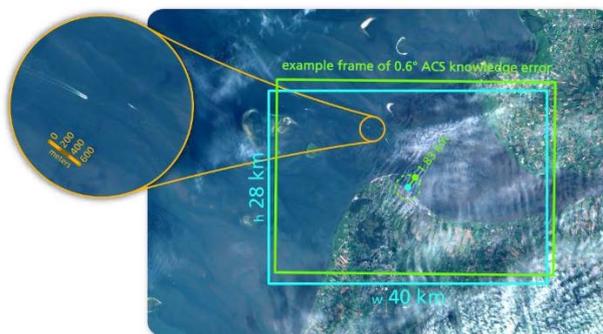


Abbildung 5: Sichtbarkeit von Schiffen an Küste von Cuxhaven, die größer 50m sind. Das Bild zeigt 10m GSD, wie von OTTER zu erwarten. (Quelle: ESA remote sensing)

Die genauere Berechnung ist daher auf zusätzliche markante Merkmale im Bild, wie Küstenlinien, angewiesen. Diese Berechnungen sind sehr anspruchsvoll für die

Verarbeitungshard- und -software. Daher werden sie bei der OTTER-Mission nachträglich am Boden und nicht auf dem Satelliten durchgeführt. Die gesammelten Daten werden dazu beitragen, die erforderlichen Algorithmen für die On-Board-Verarbeitung bei künftigen Missionen zu entwickeln. Die Stromversorgung des Satellitenbusses und der Nutzlasten erfolgen über ausklappbare Solarpaneele und Batterien.

Zur Kommunikation von Nutzlastdaten zum Boden wird eine S-Band Patch Antenne verwendet und für Telemetrie und Telekommandos eine UHF Antenne. Der Satellit wird im ersten halben Jahr mit dem RSC<sup>3</sup> gemeinsam vom Satellitenhersteller aus Berlin betrieben. Um die Überflüge und Kontakte zu Bodenstationen zu erhöhen, insbesondere in der frühen Inbetriebnahmephase des Satelliten, wird neben der eigenen Bodenstation das Bodenstationsnetz von KSat lite genutzt.

Das verbaute elektrische Triebwerk und was damit erreicht werden kann, wird im nächsten Kapitel beschrieben.

#### 4. ORBITERHÖHUNG ZUR VERLÄNGERUNG DER LEBENSZEIT DES OTTER SATELLITEN

Die Spektrum Rakete von ISAR Aerospace bestimmt die Auswurfhöhe und Initialflugbahn des Satelliten. Während auf diese Initialcharakteristika kein Einfluss genommen werden kann, kann mittels Antriebes der Satellit nach seinem Auswurf beschleunigt und damit sein Orbit erhöht werden. Die Orbitparameter mit denen der OTTER startet sind von ISAR Aerospace wie folgt angegeben:

Tabelle 1: Auswurforbitparameter OTTER

Parameter	Wert
Orbittyp	LEO, elliptisch: 250 km * 350 km
Separationshöhe	> 250km
Große Halbachse	6678,1370km
Exzentrizität	0,00749
Inklination	96,7°
Argument Perigäum	79,19

In diesem sehr niedrigen Erdbit (Very Low Earth Orbit, VLEO) von 250 – 350km erfährt der Satellit hohen atmosphärischen Reibungswiderstand, was in einem raschen Absenken der Höhe und der darauffolgenden vollständigen Verglühung führt. Ohne Gegenmaßnahmen hätte der Satellit somit eine Lebenszeit von etwa zwei Wochen. Um diesen Prozess zu verlangsamen wird ein Multi - Field Emission Electric Propulsion (Multi-FEEP) Triebwerk von Morpheus Space auf eine der schmalen Seiten vom OTTER verbaut. Parameter dieses Triebwerks können aus nachfolgender Tabelle entnommen werden:

Tabelle 2: Triebwerksparameter, Quelle: morpheus-space.com/products/multifeep

Parameter	Wert
Dynamischer Schubbereich	1 – 252µN
Spezifischer Impuls	>7000s
Gesamtimpulsbereich	0,9 – 11,5 kNs
Leistung	0,4 – 22W
Gesamtmasse (feucht)	0,3 – 0,5kg

Zusätzlich zum Einsatz des Triebwerks wird der Satellit sich mit der geringsten Fläche zum Atmosphärenwiderstand ausrichten, um diesen zu reduzieren. Diese beiden Maßnahmen erhöhen die zu erwartende Lebenszeit auf

über ein Jahr und ermöglichen damit mehr Raum für experimentelle Aufnahmen, Datenfusionen und weitere Vorhaben. Zeitgleich kann der Orbit mit den Triebwerken auf etwa 400km zirkularisiert werden, um extreme geringe Höhen und damit sehr hohe Reibungswiderstände zu minimieren. Zu diesem Zweck wird der Satellit kontinuierlich bei Sonneneinstrahlung (und damit Energieeintrag über die Solarpaneele) über bis zu zwei Monate hinweg Schub erzeugen, sofern es Batterie, Treibstoffmenge (40g Indium) und Nutzlasteinsatzphasen zulassen.

Experimentell soll auch der Einsatz der Nutzlasten, an verschiedenen Positionen der Ellipse im VLEO, also in unterschiedlichen Höhen, getestet werden. Im Extremfall, gegen Ende der Lebenszeit des Satelliten, sollen auch Aufnahmen beim Deorbiting im VLEO gemacht werden, um Bilder aus < 250km Höhe aufzunehmen.

Als Sekundärnutzlast gibt es auf dem Satelliten zwei Laser-Retroreflektoren (siehe Abbildung 4 unten links) vom DLR-Institut für technische Physik, mit denen Laser-Entfernungsmessungen und Nachführungen mit der Mini-Satellite-Laser-Ranging-Station (Mini-SLR) in Stuttgart durchgeführt werden sollen.

#### 5. EINBINDUNG IN INTERNATIONALE VORHABEN

Der Satellit OTTER lässt sich mit seinem zukünftigen Beitrag zur maritimen Sicherheit thematisch in diverse internationale Vorhaben einbringen. Im Rahmen eines multinationalen Projektvorhabens zur maritimen Lagebild-Erstellung mittels AIS plant das RSC<sup>3</sup> die OTTER-Mission einzubringen. Die Schwerpunkte werden dabei auf der Entwicklung einer kostengünstigen Kleinstsatelliten-Plattform zwecks Überwachung nicht kooperativer Ziele mit Aufklärungssensoren sein. Darüber hinaus werden Aspekte zum operationellen Konzept der Lagebild-Generierung durch Verschneiden verschiedener Sensordaten von anderen Plattformen und ein verteilter Betrieb in Kooperation mit den Projektpartnern betrachtet. Aktuell stellt das DLR Pläne für einen Beitrag in dieses Projekt vor, um in den internationalen Wissensaustausch auf diesem Gebiet einzusteigen und die Relevanz von reaktionsschnellen weltraumgestützten Fähigkeiten aufzuzeigen. Gleichzeitig kann hier die Diskussion zu nationsübergreifender Interoperabilität von Weltrauminfrastruktur und sensorübergreifende Datenfusion einen erheblichen Mehrwert für die Sicherheit bringen.

Darüber hinaus beabsichtigt das RSC<sup>3</sup> seine OTTER-Mission für multinationale Marine-Übungen für eine weltraumbasierte Aufklärung zur Verfügung zu stellen. In der Vergangenheit war auf solchen Übungen der Beitrag von weltraumgestützter Infrastruktur gering, obwohl er im Realfall viel Mehrwert zum Lagebild beisteuern kann. Die bildgebenden und signalerfassenden Fähigkeiten von OTTER können an dieser Stelle einen Einstieg zur Kooperation zwischen den Dimensionen bieten und neue realistische Übungsszenarien hervorbringen. Darunter zum Beispiel der Ausfall terrestrischer militärischer Aufklärungsfähigkeiten, die kurzzeitig durch Multi Sensorquellen aus der Luft und dem Weltall kompensiert werden müssen oder Szenarien, in denen Interoperabilität zwischen den Dimensionen erforderlich ist, um ergänzende Informationsquellen zu fusionieren und ein vollständiges Lagebild zu generieren.

## 6. DANKSAGUNG

Das Kompetenzzentrum für Reaktionsschnelle Satellitenverbringung ist gefördert durch das Bundesministerium der Verteidigung.

Das Vorhaben RSTEC ist gefördert durch Mittel aus dem REACT-EU Paket der Europäischen Kommission.

## 7. VERWEISE

- [1] Europäische Union, „European Defense Fund: REACTS Responsive European Architecture for Space,“ 2023. [Online]. Available: [https://defence-industry-space.ec.europa.eu/system/files/2023-06/REACTS-Factsheet\\_EDF22.pdf](https://defence-industry-space.ec.europa.eu/system/files/2023-06/REACTS-Factsheet_EDF22.pdf). [Zugriff am 04 September 2023].
- [2] M. Lehmann, D. Freiknecht und D. Müller, „RSTEC - DAS RESPONSIVE SPACE RESEARCH AND TECHNOLOGY CENTER: ANKNÜPFUNGSPUNKTE FÜR INDUSTRIE UND FORSCHUNG,“ Bremerhaven, 2022.
- [3] T. Harrison, K. Johnson, T. G. Roberts, T. Way und M. Young, „Space Threat Assessment,“ 2020. [Online]. Available: [https://aerospace.csis.org/wp-content/uploads/2020/03/Harrison\\_SpaceThreatAssessment20\\_WEB\\_FINAL-min.pdf](https://aerospace.csis.org/wp-content/uploads/2020/03/Harrison_SpaceThreatAssessment20_WEB_FINAL-min.pdf). [Zugriff am 04 September 2023].
- [4] W. Jung, T. Vasen und D. Zimper, „Responsive Space for NATO Operations – Part 2,“ *The Journal of the JAPCC, Edition 32*, Sommer 2021.
- [5] R. Churchill und G. Ulfstein, *Marine Management in Disputed Areas, the case of the Barents Sea*, UK: Taylor & Francis, 2005.
- [6] T. v. Lierop, „Major operation against migrant smuggling in the English Channel: 39 arrests,“ Juli 2022. [Online]. Available: <https://www.eurojust.europa.eu/news/major-operation-against-migrant-smuggling-english-channel>. [Zugriff am 5 September 2023].
- [7] „DLR.de,“ DLR, April 2021. [Online]. Available: <https://www.dlr.de/de/bilder/2021/04/mikrolauncher-wettbewerb-rsc>. [Zugriff am 1 September 2023].