

# Responsive Space: Eine Betrachtung taktischer, operationeller und strategischer Aspekte

**Dr. Matthias Mück**  
Abteilungsleiter Weltraumsegment

**Dr. Andreas Ohndorf**  
Einrichtungsleiter

Responsive Space Cluster Competence Center (RSC<sup>3</sup>)  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

## 1 Einleitung

Responsive Space (RS) beschreibt die reaktionsschnelle Bereitstellung weltraumgestützter Fähigkeiten, um auf sich ändernde Bedarfe an die Weltrauminfrastruktur reagieren zu können. Die Notwendigkeit einer zeitnahen Anpassung von Funktionalitäten im Orbit ist bedingt durch die heutzutage wesentliche Abhängigkeit ziviler sowie sicherheits- und verteidigungsrelevanter Prozesse von Satelliten – und durch die sich daraus abzuleitende Erkenntnis, dass der Weltraum zur kritischen Infrastruktur zählt.

Unter zeitnaher Anpassung lassen sich zum einen der Ersatz von Elementen im Weltraum verstehen, die durch Fehlfunktion oder gezielte Sabotage nicht mehr zur Verfügung stehen. Darüber hinaus kann die reaktive Bereitstellung von ergänzenden Weltraum-Funktionalitäten in Krisensituationen (Katastrophenschutz, Verteidigungsfall) notwendig sein. In beiden Szenarien kann dies durch eine ad hoc Verbringung auf den Orbit eines Satellitensystems, das gezielt für den Einsatz in kürzester Zeit mit den notwendigen Nutzlasten integriert wird, erfolgen. Eine Verbringung eines entsprechend eingelagerten Systems ist ebenfalls denkbar. Beschriebene Anwendungsfälle stellen den Aspekt des taktischen Responsive Space dar, zu dessen Beherrschung Schnittstellen-Standardisierung von Satelliten-Plattformen mit relevanten Nutzlasten und verfügbaren Trägersystemen erforscht werden. Neben den Satelliten-Systemen werden im taktischen RS die Verbringungssysteme betrachtet (Responsive Launch).

Unter strategischem Responsive Space lassen sich die ganzheitliche Betrachtung der Weltrauminfrastruktur zusammenfassen, die eine Bereitstellung von Aufklärungs-, Navigations-, oder Kommunikationsfunktionalitäten bei Bedarf ermöglichen, ohne die Architektur im Orbit per se ergänzen zu müssen. Strategisches RS beschäftigt sich mit Konstellation und Systemen von Systemen, die im Bedarfsfall instantan interagieren können. Bereitstellung von Funktionalitäten aus dem Orbit erfolgen durch Interoperabilität verteilter Systeme; Vernetzung und Datenfusion sind hier ein zentraler Forschungsgegenstand. Kompatibilität erstreckt sich ebenfalls auf die jeweilige Bodensegment-Infrastruktur.

Der regulative und logistische Rahmen, um RS im taktischen oder strategischen Kontext umsetzen zu können, wird unter dem Begriff operatives Responsive Space subsummiert. Hierzu gehören Weltraum-Gesetzgebungsinitiativen, zwischenstaatliche

Abkommen, Anwendungskonzepte hoheitlicher Nutzer, sowie die Entwicklung einer nationalen Technologie-Roadmap für RS.

Dieses Paper diskutiert die verschiedenen Ebenen von Responsive Space am Beispiel der Forschungsaktivitäten des Responsive Space Cluster Competence Center (RSC<sup>3</sup>) im DLR.

## 2 Das Konzept Responsive Space

### 2.1 Kritische Infrastruktur Weltraum

Zur Erfüllung seiner hoheitlichen Aufgaben wie der gesamtstaatlichen Sicherheitsfürsorge, ist der Staat darauf angewiesen, in Krisensituationen Fähigkeiten zur Verfügung zu stellen, die ein sofortiges Handeln ermöglichen. Hierbei spielen orbitale Systeme eine wesentliche Rolle. Darüber hinaus muss eine Infrastruktur von orbitalen Systemen permanent garantiert werden zur Aufrechterhaltung ziviler Prozesse.

Mit zunehmender Abhängigkeit technischer Systeme von weltraumgestützten Lösungen gewinnen orbitale Systeme wie Satelliten und deren Konstellationen an Bedeutung und werden zur kritischen Infrastruktur. In den Bereichen Kommunikation, Navigation und Erdbeobachtung stellen Satellitensystemen heute unverzichtbare Komponenten dar, ohne die alltägliche Dienste nicht mehr zur Verfügung stehen. Die Fähigkeiten, die durch orbitale Systeme sowohl im zivilen als auch im militärischen Kontext zur Verfügung gestellt werden, lassen sich dabei einer Klassifizierung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) folgend in folgende Kategorien einteilen, [1]:

#### Kommunikation

Durch die Fähigkeit der Kommunikation erlauben orbitale Systeme beispielsweise die Übertragung von Telefonie über lange Distanzen und mittlerweile die Internetanbindung in abgelegenen Gebieten. Die Führung von Truppen bedarf ebenfalls der Kommunikation mittels Satelliten, um im Einsatz von terrestrischen Mitteln unabhängig zu sein.

#### Navigation und Zeitkoordination

Die exakte Navigation von Fahrzeugen erfolgt über Globale Navigationssatellitensysteme (GNSS, z.B. Galileo oder GPS) und ist Grundlage für Verkehrskoordination in der Luft, zu Wasser, an Land. Die genaue Positionsbestimmung ist darüber hinaus Voraussetzung für die Führung von Truppen und die Koordination und Einweisung dimensionsübergreifender Operationen. Sowohl im zivilen wie im militärischen Bereich stellt die

exakte Navigation die Grundvoraussetzung für zunehmende Autonomie dar.

Die Positionsbestimmung mittels GNSS basiert auf der Auslesung hochpräziser Zeitsignale, die von mehreren Satelliten ausgesendet und auf der Erde empfangen werden. Über diese Zeitsignale werden operative Prozesse global synchronisiert und koordiniert. Eine Störung der GNSS Netzwerke könnte den Ausfall von Handelssystemen, Energienetzen sowie Telekommunikationsservices zur Folge haben. Die Auswirkungen auf Versorgung und wirtschaftliche Stabilität können gravierend sein.

### **Erdbeobachtung und Aufklärung**

Erdbeobachtungs-Satelliten verfügen über unterschiedliche Sensorik und liefern so aktuelle und präzise Informationen über den Zustand der Erde. So können neue Einsichten in die Wälder, Agrarflächen, Gewässer, Städte und Infrastrukturen gewonnen werden. Des Weiteren bieten entsprechende Sensoriken die Möglichkeit, Erkenntnisse über verteidigungsrelevante Strukturen zu geben und so ein ganzheitliches Lagebild über Bedrohungslagen zu geben.

### **Weltraumlage und Weltraumwetter**

Informationen über die aktuelle Weltraumlage wie zum Beispiel die Lokalisierung von Weltraumschrott und das Weltraumwetter gewinnen an Bedeutung für die Nachhaltigkeit und den Schutz der Infrastruktur im All. Ein Weltraumlagebild ermöglicht, Bedrohung zu erkennen und vorbeugende Maßnahmen gegen den Ausfall von weltraumgestützten Ressourcen zu ergreifen.

### **Weltraumrobotik**

Zunehmend wird auch die Weltraumrobotik relevant, mit der in Zukunft orbitale Systeme modifiziert, verbessert und am Leben erhalten werden können. Durch robotische Systeme im Orbit kann die Bereitstellung oder Anpassung benötigter Fähigkeiten verlagert werden von einer Verbringung vom Boden aus hin zur Manipulation an bereits im Weltraum befindlichen Objekten. Robotik wird in der Lebenszeit-Verlängerung von Satelliten, in der Entfernung von nicht-kooperativen Elementen und im Schutz kritischer Assets im Orbit eine Rolle spielen.

Die Einsicht, dass kritische und sicherheitsrelevante Anwendungen in unserer Gesellschaft maßgeblich von weltraumgestützten Technologien abhängen, erfordert die Bereitstellung eines gesamtheitlichen Konzepts zur reaktionsschnellen Begegnung von Ausfällen in der Weltrauminfrastruktur und deren Erweiterung im Bedarfsfall. Dieses Konzept ist bekannt unter dem Begriff **Responsive Space** und wird im Folgenden aus den Forderungen der Strategien der deutschen Bundesregierung abgeleitet.

## **2.2 Responsive Space als Ableitung aus der Sicherheitsstrategie**

*„Die innere und äußere Stabilität unseres Landes hängt zunehmend vom Funktionieren unserer im Weltraum*

*positionierten Infrastruktur ab. Dies macht uns verletzlich gegenüber unabsichtlicher oder vorsätzlicher Störung [...] oder gar gezielter destruktiver Einwirkung auf wichtige weltraumbasierte Fähigkeiten.“, [2].* Diese Erkenntnis aus der Raumfahrtstrategie der Bundesregierung aus dem Jahr 2010 hat heute mehr Relevanz denn je zuvor. Mit der Einsicht, dass weltraumgestützte Systeme einen wesentlichen Beitrag zur gesamtstaatlichen Sicherheitsvorsorge darstellen und die Grundlage bilden für weitreichende zivile Anwendungen, wird in der Raumfahrtstrategie der Bedarf an Schutz von Raumfahrtssystemen abgeleitet.

In der kürzlich vorgelegten Nationalen Sicherheitsstrategie, [3], wird die Bedeutung des Weltraums als strategische Dimension wieder aufgegriffen und auf dessen militärische sowie zivile Nutzung als unerlässlich verwiesen. Die abgeleiteten Handlungsbedarfe umfassen die Erstellung eines ganzheitlichen Weltraumlagebildes und die Ausarbeitung einer Weltraumsicherheitsstrategie, die die künftigen „*Handlungslinien zum Schutz und zur Verteidigung im Weltraum sowie zur gesamtstaatlichen Resilienzsteigerung [festlegt] und Maßnahmen zur Stärkung der militärischen Handlungsfähigkeit durch Weltraumnutzung*“ beschreibt, [3].

In der Konzeption der Bundeswehr aus dem Jahr 2018 wird konsequenterweise ein „*Sicherstellen der Verfügbarkeit der kritischen Weltrauminfrastruktur*“, [4], gefordert. Mit dem Verweis auf die Raumfahrtstrategie und die Strategische Leitlinie Weltraum des Bundesministeriums der Verteidigung (BMVg) von 2017 wird der Operationsraum Weltraum als kritische Infrastruktur beschrieben, [5]. Der Bedarf an ständiger Verfügbarkeit an weltweiter Aufklärung, Kommunikation, Positions- und Zeitreferenzierung für militärische Einsätze erfordert die permanente Kontrolle über weltraumgestützte Systeme und deren Bodeninfrastruktur. Das Konzept fordert die Befähigung, „*verzugslos, unabhängig und souverän auf krisenhafte Entwicklungen reagieren zu können*“, [5],

Aus der neuralgischen Bedeutung der Weltrauminfrastruktur für zivile und sicherheitsrelevante Aspekte lässt sich ableiten, dass eine Degradierung der raumgestützten Fähigkeiten als krisenhafte Entwicklung eingestuft werden muss. Somit überträgt sich die Forderung nach der Möglichkeit, verzugslos und unabhängig einer solchen Entwicklung entgegen wirken zu können, auf die Weltrauminfrastruktur selbst sowie auf die zugehörigen Bodenanlagen und auf den souveränen Zugang zum Weltraum. Dieses Konzept bildet den Kern von Responsive Space und lässt sich wie folgt definieren:

**Responsive Space** stellt das Konzept dar, eine raumgestützte Fähigkeit bei Bedarf (und insbesondere bei krisenhaften Entwicklungen) im (erdnahen) Orbit zu aktivieren und verzugslos zu betreiben.

Dieses Konzept erstreckt sich auf die Planung und den Aufbau einer entsprechenden (vernetzten) Infrastruktur, auf die Verbringung von zusätzlich notwendigem Gerät oder Software (im Orbit und am Boden) sowie auf die operationellen Konzepte und bewirkt somit die Resilienz der Weltrauminfrastruktur.

Responsive Space muss ganzheitlich gedacht werden und umfasst alle Elemente eines Weltraum-Gesamtsystems: Weltraumsegment, Bodensegment und Startsegment.

Aus dieser Definition wird klar, dass das Konzept Responsive Space breiter gedacht werden muss, als lediglich die reaktionsschnelle Verbringung von Satelliten auf den Orbit und deren zeitnahe Inbetriebnahme.

### 2.3 Strategisch – Operationell – Taktisch: Die drei Ebenen von Responsive Space

Der Anforderung zum Aufbau und Erhalt einer resilienten Weltrauminfrastruktur wird auf mehreren Ebenen begegnet. Während über eine reaktionsschnelle Verbringung von Satelliten kurzfristig entstehende Bedarfe an raumgestützter Sensorik und an Kommunikationswegen beantwortet werden können, wird über Konzepte von vernetzten und interoperablen Konstellationen eine schnelle Bereitstellung von Fähigkeiten systematisch gedacht.

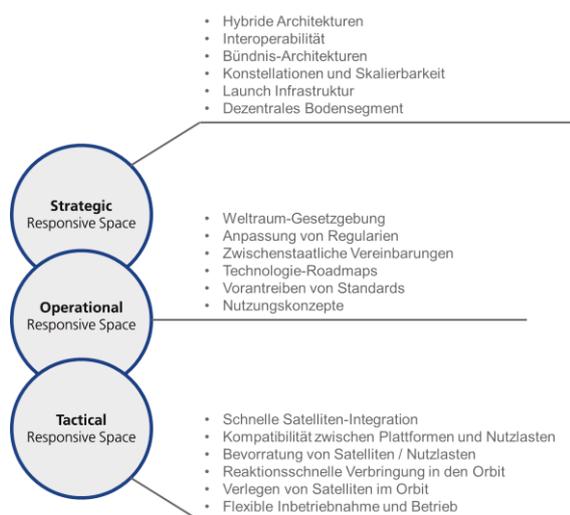


Abbildung 1: Die drei Ebenen von Responsive Space

Der Begriff Responsive Space adressiert dabei zunächst einmal die grundsätzliche Fähigkeit, im Bedarfsfall zeitnah eingreifen zu können, um spezielle raumgebundene Funktionalitäten oder Informationen für den Anwender zur Verfügung zu stellen. Die hierfür

notwendigen Aktionen hängen stark vom operationellen Kontext und den zur Verfügung stehenden Ressourcen ab. Die folgenden Ausprägungen von Responsive Space werden unterschieden und in Zusammenhang mit den Forschungsaktivitäten am Responsive Space Cluster Competence Center gesetzt.

#### 2.3.1 Tactical Responsive Space (TRS)

Unter **Tactical Responsive Space (TRS)** verstehen wir die Fähigkeit, ad hoc auf einen Bedarf reagieren zu können, um Funktionalitäten in relevanter Zeit im Orbit zur Verfügung zu stellen.

Ein typischer Anwendungsfall ist die reaktionsschnelle Verbringung von Nutzlasten auf geeigneten Satelliten-Plattformen zur Bereitstellung einer notwendigen Sensorik. Dies kann der Fall sein im Rahmen eines speziellen Missionsprofils, das ergänzende Aufklärungs-Assets benötigt (etwa im Rahmen von sich entwickelnden Konflikt- oder bei der Begegnung von Katastrophensituationen); oder in Folge des Verlusts einer raumgestützten Komponente. In diesem Szenario sind Reaktionszeiten von wenigen Tagen zwischen Feststellung des Bedarfs bis hin zur Inbetriebnahme der Funktionalität im Orbit erforderlich.

Die Durchführung von TRS setzt die Beherrschung folgender Kompetenzen voraus:

#### Schnelle Integration von Nutzlasten in Satelliten-Plattformen und von Satelliten auf Trägerraketen

Um hier flexibel agieren zu können, werden Standardisierung von Schnittstellen zwischen Nutzlasten und Satellitenbussen, sowie zwischen Satelliten und Trägersystemen eine Rolle spielen. Darüber hinaus wird eine Optimierung von MAIT (Manufacturing, Assembly, Integration, Test)-Prozessen notwendig sein, um ein startfähiges System zur Verfügung stellen zu können.

#### Bevorratung von Satelliten-Komponenten und Nutzlasten und Einlagerung von startfähigen Satelliten

Ein komplementärer Ansatz zu einer schnellen Integration einer Nutzlast mit einer Satelliten-Plattform kann die Vorab-Fertigstellung und Bevorratung von Satelliten-Systemen sein. In diesem Szenario erfolgt eine Reaktivierung von eingelagerten Satelliten und ggf. Qualifikationstest innerhalb von wenigen Tagen.

#### Responsive Launch

Im Kontext von TRS bedarf es Startmöglichkeiten innerhalb von wenigen Tagen. Neben dem Zugriff auf Mitfluggelegenheiten auf kommerziellen und institutionellen Anbietern spielen dedizierte Flüge auf sog. Mirco-Launchern (Kleinstträgern), sowie Starts von verlegbaren Systemen eine Rolle. In diesem Kontext werden ebenso lagerfähige Trägersysteme, die bei Bedarf sofort gestartet werden können, eine Rolle spielen.

#### Verlegen von Satelliten innerhalb des Orbits

Alternativ zum Start eines Satelliten kann ein im Orbit befindlicher Satellit im Rahmen von TRS auf einen anderen Orbit gebracht werden, um reaktionsschnell

Informationen über einem bevorzugten Interessensgebiet oder in einem geändert Betriebsszenario zu liefern.

### **Flexible Inbetriebnahme und Betrieb**

Die Inbetriebnahme von Satelliten unter einem TRS-Szenario erfordert den flexiblen Zugriff auf eine Steuerungsinfrastruktur. Hierbei spielen verlegbare Missionskontrollsysteme und Zugriff auf ein redundantes Bodensegment eine Rolle.

### **2.3.2 Strategic Responsive Space (SRS)**

Unter **Strategic Responsive Space (SRS)** verstehen wir die Planung und den Aufbau einer flexiblen und resilienten Weltraum-, Start- und Bodensegment-Infrastruktur, um Fähigkeiten im Orbit verzugslos verfügbar zu machen und verfügbar zu halten.

SRS zielt darauf ab, einem strategischen Interesse an einem jederzeit ungehinderten Zugang zu weltraumgestützten Informationen und Informationswegen gerecht zu werden. Im Kontext von SRS werden Weltraumarchitekturen so geplant, dass die Fähigkeit zur bedarfsgerechten Bereitstellung einer raumgestützten Fähigkeit im System integriert ist und nicht zwangsläufig auf die reaktionsschnelle Verbringung neuer Nutzlasten auf den Orbit angewiesen ist.

Der Aufbau einer SRS Architektur ist eng verbunden mit folgenden Aufgabenstellungen:

#### **Hybride Architekturen und Interoperabilität**

Um in unvorhergesehenen Szenarien eine bedarfsgerechte Bereitstellung von Informationen und Kommunikationswegen mittels raumgestützter Systeme ermöglichen zu können, benötigt man die Option, auf dem Orbit bereits verfügbare Fähigkeiten aufwandsarm in neue Zusammenhänge einbinden zu können. Mittels Interoperabilität verschiedener Systeme können Synergien zwischen im Weltraum befindlichen Fähigkeiten geschaffen werden, die die Funktionalität erhöhen oder ausgefallene Ressourcen ersetzen können. Über Interoperabilität lassen sich neu verbrachte Nutzlasten in bestehende Satelliten-Konstellation einbinden, sowie Services aus anderen raumgebundenen (kommerziellen, hoheitlich zivilen oder militärischen) Systemen integrieren. SRS begreift daher die dem Anwender zur Verfügung stehenden Systeme als eine hybride Architektur, die über Interoperabilität und Datenfusion im Bedarfsfall die Leistung (Verfügbarkeit, räumliche Abdeckung, zeitliche Latenzen, Auflösung, Kommunikations-Bandbreite) und die Resilienz des Gesamtsystems erheblich erhöhen.

#### **Operationelle Konzepte und Anwendungsfälle**

Um SRS effektiv umsetzen zu können, müssen die operationellen Konzepte zur Nutzung von raumgestützten Systemen für verschiedene Anwendungsfälle analysiert werden. Ziel ist die Identifikation von Synergien zwischen den Anwendungsfällen. In diesem Sinne ist ebenfalls eine Einbindung der nationalen Weltrauminfrastruktur in die Architekturen befreundeter Nationen und Bündnispartner zu denken.

### **Konstellationen und Skalierbarkeit**

Ein Aspekt von SRS ist die Planung bedarfsgerechter Skalierbarkeit von raumgestützten Informations- und Kommunikations-Services. Durch Verteilen von Fähigkeiten auf eine Vielzahl von Satelliten innerhalb einer Konstellation können Verfügbarkeit und Abdeckung von Services bei gleichzeitig wachsender Resilienz gegenüber einem Satelliten-Ausfall erhöht werden. Mittels Tactical Responsive Space (2.3.1) kann im Notfall durch reaktionsschnelle Verbringung neuer Satelliten die Anzahl der Knoten im Netzwerk skaliert werden. Durch ein Obsoleszenz-Management, bei dem Konstellationen kontinuierlich neu bestückt werden mit Komponenten neuerer Technologien, kann eine stetige Anpassung des Fokus der Infrastruktur vorgenommen werden.

### **Launch Infrastruktur**

Für den Aufbau, Erhalt und die Skalierung von Elementen in der Weltrauminfrastruktur ist der permanente Zugang zum Operationsraum Weltraum relevant. Neben Befähigungen des Response Launch (siehe Tactical Responsive Space, 2.3.1) wird die Launch Infrastruktur auf strategischer Ebene gedacht. Um einer Verhinderung des Zugangs zum All entgegenzuwirken, bedarf es der Bereitstellung unterschiedlicher Startkonzepte. Aus Gründen der Resilienz gegenüber einem (herbeigeführtem) Ausfall werden neben den klassischen institutionellen Startanbietern geografisch verteilte Launch Optionen eine Rolle spielen, darunter zunehmend kommerzielle Unternehmen und Technologie-Startups. Ziel einer Launch Infrastruktur im Sinne von SRS ist der jederzeit mögliche Zugriff auf redundante Start-Ressourcen. Um die Ausfallwahrscheinlichkeit im Verteidigungsfall zu reduzieren, wird eine Launch Infrastruktur verlegbare Konzepte wie den sog. Air Launch, den Start von See-gestützten Plattformen und von an Land mobilen Starteinrichtungen benötigt.

### **Dezentrales Bodensegment**

Um jederzeit Zugriff auf weltraumgestützte Datendienste und Kommunikationskanäle nehmen zu können, bedarf es einer Resilienz im Bodensegment, die den Zugang zur Weltrauminfrastruktur gewährleistet. In diesem Kontext adressiert SRS eine dezentrale Verteilung der Boden-Infrastruktur. Neben dem Aufbau von (mehrfach) redundanten Bodensegmenten spielt die Planung von mobilen (tragbaren) Kontrolleinheiten zur Kommandierung von Satelliten eine Rolle, die wiederum im Tactical Responsive Space Anwendung (2.3.1) finden kann.

### **2.3.3 Operational Responsive Space (ORS)**

Unter **Operational Responsive Space (ORS)** verstehen wir die Rahmenbedingungen und Kompetenzen, um Taktisches (TRS) und Strategisches Responsive Space (SRS) umsetzen zu können.

Dabei adressiert ORS die regulatorischen Aspekte, sowie die notwendigen Ressourcen, um Responsive Space operationell durchführen zu können.

Die Betrachtung von ORS richtet sich dabei auf folgende Aspekte:

### Anpassung von Regularien

Insbesondere die Durchführung von Responsive Launches von deutschem Boden aus (als Teil von TRS) wirft ungeklärte gesetzliche Fragen auf. Teil von ORS wird es sein, diese regulatorischen und gesetzlichen Aspekte zu adressieren und Empfehlungen für eine adäquate Weltraum-Gesetzgebung zu formulieren.

### Technologie-Roadmaps und Vorantreiben von Standards

Interoperabilität (als Teil von SRS) setzt gewisse Standards voraus, die eine Kommunikation und Vernetzung von Systemen ermöglichen. Ziel von ORS wird es sein, vielversprechende Standards und Technologien zu identifizieren und eine einheitliche Nutzung innerhalb der nationalen und Bündnis-Weltraum-Architektur zu propagieren (als Beispiel sei hier die optische Kommunikation zwischen Satelliten mittels Laser-Terminals hervorgehoben). Im Rahmen von ORS werden Technologie-Roadmaps entwickelt, welche die technologische Reifung der notwendigen Technologien für Responsive Space bewirken.

### Aufbau eines Responsive Space Ökosystems

Um den Transfer von relevanten Technologien in Produkte zu fördern, wird ORS den Aufbau eines Responsive Space Ökosystems vorantreiben. Dabei werden Industrie, KMUs und Startups, Forschungseinrichtungen und der Anwender zusammengebracht, um eine Nutzer-gerechte Entwicklung einer Responsive Space Architektur zu ermöglichen.

### Nutzungskonzepte

Durch vernetzte Interoperabilität von Weltrauminfrastrukturen wird deren Betrieb komplexer. Ziel von ORS ist es, Nutzungskonzepte hybrider Architekturen zu entwickeln. Hierzu gehört der verteilte Betrieb von synergetischen genutzten Systemen. Diese Nutzungskonzepte werden insbesondere auch den gemeinschaftlichen Betrieb durch das Personal kommerzieller Anbieter und hoheitlicher Betreiber berücksichtigen. Im Spezialfall der Nutzung eines zivilen Systems durch den Verteidiger insbesondere im Verteidigungsfall werden Konzepte benötigt, wie ziviles Personal nicht zu Kombattanten wird. Des Weiteren werden Schulungskonzepte für den Nutzer zur Verfügung gestellt.

### Zwischenstaatliche Nutzungs-Vereinbarung

Über den Aspekt der gemeinschaftlichen Nutzung hinaus werden Abkommen zwischen verbündeten Staaten über die Bereitstellung von und den Zugriff auf Ressourcen im Weltraum spielen. Neben der Bereitstellung von Daten und Kommunikationswegen kann die Weltrauminfrastruktur eines Partners als Ressource zur Einbindung in eigene Fähigkeiten begriffen werden. Darüber hinaus werden Redundanzen zur Verbringung von Fähigkeiten in den Orbit nur durch international verfügbare Startservices, Startsysteme und Startplätze möglich sein. Ein internationaler geteilter

Betrieb könnte darüber hinaus den Zugriff auf weltraumgestützte Fähigkeiten resilienter gestalten.

## 3 Das Responsive Space Cluster Competence Center (RSC<sup>3</sup>)

Die Leitung des BMVg hat im Frühjahr 2020 die wehrtechnische Relevanz des Technologiebereichs **Responsive Space Capabilities** auf Basis der Mittelfristplanung und des vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) vorgelegten Konzeptes **Responsive Space Cluster Competence Center (RSC<sup>3</sup>)** anerkannt und die Programmkoordination für Sicherheits- und Verteidigungsforschung im DLR mit dem zeitnahen Beginn der Umsetzung und Steuerung aller in diesem Zusammenhang stehenden Aktivitäten beauftragt.

Aufgabe des RSC<sup>3</sup> ist es, zusammen mit Forschungseinrichtungen, Industrie und Nutzern die Technologiegrundlage einer agilen Verbringung von weltraumgestützten Funktionalitäten zu schaffen und Roadmaps für die Umsetzung zu entwickeln. Dadurch wird Deutschland in Kooperation mit befreundeten Nationen befähigt, seine Weltrauminfrastruktur resilienter zu gestalten und bei Bedarf neue Fähigkeiten reaktionsschnell im Orbit zu aktivieren. Zu diesem Zweck entsteht am Standort in Trauen eine Forschungsinfrastruktur, die das RSC<sup>3</sup> unter Einbindung weiterer DLR-Institute zur Schaffung einer Technologiebasis und Demonstration von Konzepten im Kontext Responsive Space befähigt. Das RSC<sup>3</sup> verfolgt dabei den Cluster-Gedanken, indem es Kompetenzen innerhalb des DLR, nationalen Forschungsorganisationen und der Industrie unter dem Themenschwerpunkt bündelt und durch eigene Forschung komplementiert.

### 3.1 Organisationsstruktur des RSC<sup>3</sup>

Das RSC<sup>3</sup> bildet in seiner Organisation die Segmente eines ganzheitlichen Weltraumsystems ab. In drei Fachabteilungen – **Bodensegment**, **Startsegment**, **Weltraumsegment** – werden die Forschungsschwerpunkte zur verzugslosen und resilienten Verfügbarkeit von Bodenkontrollzentren, Trägersystemen und im Orbit befindlichen Plattformen adressiert. In einer querschnittlichen Abteilung – **Technologie-Demonstration** – wird die Umsetzung der Konzepte aus den Segmenten im Rahmen von Missionen demonstriert.

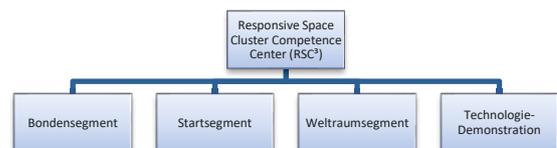


Abbildung 2: Struktur des RSC<sup>3</sup>

### 3.1.1 Forschungsschwerpunkte Bodensegment (BSM)

Die Abteilung Bodensegment des REC<sup>3</sup> befasst sich mit der Weiterentwicklung und Erprobung von Konzepten und Simulationswerkzeugen u.a. zur ortsunabhängigen Satellitenkontrolle sowie zum Betrieb von Satelliten-Nutzlasten durch militärische Anwender unter der Berücksichtigung von Krisensituationen. Aktuell werden in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Raumfahrtkontrollzentrum (GSOC) zwei komplementäre Ansätze verfolgt:

- verlegefähiges kompaktes Kontrollzentrum (V3C) für den Einsatz im Feld
- ein Service-orientiertes Bodensegment (HCC), welches verfügbare Bodeninfrastrukturen in dezentralisierter Weise nutzt.

Weiterhin werden Ideen zur bedarfsgerechten Bereitstellung eines weltweiten, sicheren Bodenstationsnetzwerks verfolgt. Darunter fallen Arbeiten in den Bereichen Laser-gestützte Satellitenkommunikation und reaktive Planung, die mit Inbetriebnahme der Laserbodenstation Trauen (LaBoT) seit Mitte 2023 auch experimentell begleitet werden. Um die Einsatzbereitschaft der Technologie unter realen Bedingungen zu erproben ist diese Anlage für den Dauerbetrieb ausgelegt und kann fernüberwacht bzw. -gesteuert werden.

### 3.1.2 Forschungsschwerpunkte Startsegment (SSM)

Die Abteilung Startsegment im RSC<sup>3</sup> befasst sich mit

- dem Entwurf und der Weiterentwicklung von boden- und luftgestützten Trägersystemen, Startanlagen und Bodeninfrastrukturen unter Berücksichtigung von Responsive Space Bedingungen;
- dem Entwurf, der Weiterentwicklung und Leistungssteigerung von Antriebssystemen für Responsive Space Trägersysteme inkl. Test und Validierung mit Bodenversuchsanlagen;
- dem Entwurf, Weiterentwicklung und Leistungssteigerung von Oberstufen zur präzisen Platzierung von Kleinsatelliten im Orbit und
- der Entwicklung von Konzepten und Simulationsumgebungen zur Startkontrolle, Flugkontrolle und Luftraumintegration.

Um die o.g. Aufgaben umsetzen zu können, werden an der Raketentriebwerk-Versuchsanlage „Viererblock“ verschiedene Prüfstände betrieben, neu aufgebaut und entsprechend den Erfordernissen verschiedener Experimente und Demonstratoren umgebaut, angepasst und ergänzt. Dazu wird der „Viererblock“ in den nächsten zwei Jahren umfangreich saniert. Ergänzend zu den bereits bestehenden, gemeinsam mit dem DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik betriebenen Anlagen für Hybridrakentriebwerke, wird zudem ein Prüfstand zur Realisierung von Feststoffrakentriebwerkstests mit einer

Nettoexplosivstoffmasse von bis zu 1000 kg aufgebaut [6].

Zudem werden verschiedene Boden- und Flugdemonstratoren inklusiver der benötigten Subkomponenten und erforderlichen struktur- / thermalmechanischen Komponenten entwickelt, ausgelegt, konstruiert, gefertigt und unter geeigneten experimentellen Bedingungen erprobt und qualifiziert. Zu diesem Zweck arbeitet das Startsegment eng mit verschiedenen anderen DLR-Einrichtungen zusammen, um bestehendes Knowhow synergetisch zu nutzen und den Aufbau von Doppelstrukturen zu vermeiden [7], [8].

### 3.1.3 Forschungsschwerpunkte Weltraumsegment (WSM)

Die Abteilung Weltraumsegment im RSC<sup>3</sup> erarbeitet eine Strategie für militärische Kleinsatelliten und deren Konstellationen mittels einer Roadmap für einen reaktiven Weltraum. Dazu werden globale Marktrecherchen zu Satellitenplattformen durchgeführt und deren Kompatibilität für sicherheitsrelevante Einsatzkonzepte und Nutzlasten analysiert und bewertet. Neben der Betrachtung von offenen Satellitenplattform-Architekturen und Standardisierung von Schnittstellen zu Nutzlasten (und Trägersystemen) spielt die Optimierung von Prozessen zur Herstellung, Integration, Test und Validierung von Kleinsatelliten eine Rolle.

Am DLR-Standort hat das RSC<sup>3</sup> mit Fördermitteln der Niedersächsischen Landesregierung das Responsive Space Test and Evaluation Center (RSTEC) errichtet. Die Laborhalle umfasst vier ISO-8 Reinräume mit verschiedenen Prüfständen. An Integrations-Arbeitsplätzen können Satellitenkomponenten und Sensoriken in sog. FlatSat (repräsentative Avionik-Umgebungen) sowie in Flughardware eingebracht und getestet werden. Auf einem Lageregelungsteststand können Kontrollalgorithmen von Satelliten (bis hin zu CubeSats) erprobt werden und auf Resilienz gegenüber Störeinflüssen ausgelegt werden. Mit Hilfe einer Thermal-Vakuum-Kammer und einem Schwingungsprüfstand können Kleinsatelliten auf die wesentlichen Umwelteinflüsse während der Verbringung und auf dem Orbit qualifiziert werden. Mit einem dedizierten Transport- und Lagerungsbehälter (TULBE) kann die Einlagerung und Reaktivierung von Kleinsatelliten erforscht werden.

Darüber hinaus trägt das Weltraumsegment zu Konzeptstudien bei, in denen resiliente Weltraumarchitekturen für sicherheitsrelevante Anwendungsfälle berücksichtigt werden. Hierbei werden für konkrete Anwendungsfälle eines hoheitlichen Nutzers Trade-offs untersucht, inwiefern Formationen von Kleinsatelliten einen Mehrwert gegenüber oder als Ergänzung zu komplexen monolithischen Systemen bieten. Dabei wird der Aspekt einer verzugslosen Verbringung oder Aktivierung bei der Untersuchung von Architekturen mitgedacht, um die ständige Verfügbarkeit von kritischen Systemen gemäß den Anforderungen zu garantieren.

### 3.1.4 Forschungsschwerpunkte Technologie-Demonstration (TDM)

Die Abteilung Technologiedemonstration bildet die übergreifende Klammer und führt die Einzel- und Systemtechnologien in Demonstrationen und Anwendungen auf wissenschaftlicher Basis im Kontext relevanter Missionen zusammen. In der Abteilung wird außerdem die Missionsplanung, -durchführung und -nachbereitung durchgeführt. Zudem werden Methoden und Verfahren für die Realisierung von Missionen im Kontext einer reaktionsschnellen Satellitenverbringung erforscht und entwickelt. Ziel der Abteilung ist es, sukzessive nationale und europäische Projekte für den Themenkomplex „Kleinsatelliten und deren Formationen“ einzuwerben und umzusetzen. Hierbei handelt es sich um diverse Projekte, die jeweils für sich gesehen einen eigenen Schwerpunkt verantworten. Zur Bearbeitung der einzelnen Projekte werden individuelle Projektteams zusammengestellt, wobei die Zusammenstellung auf dem jeweiligen fachlichen Schwerpunkt des Projektes basiert.

## 3.2 Beiträge des RSC<sup>3</sup> zu Tactical Responsive Space

### Schnelle Integration von Nutzlasten in Satelliten-Plattformen und von Satelliten auf Trägerraketen

Das Weltraumsegment im RSC<sup>3</sup> legt einen Forschungsschwerpunkt auf das Verständnis, wie benötigte Nutzlasten auf geeignete Satelliten-Plattformen ohne Verzögerung integriert werden können. Ein zentraler Aspekt ist dabei die Frage nach der Etablierung von Standards, die herstellerübergreifend den Einbau einer Sensorik in einen Satelliten erlauben, ohne dass aufwendige Delta-Qualifizierungsprozesse notwendig werden. Unter sog. offenen Architekturen gilt es diese zu identifizieren bzw. weiterzuentwickeln, die am besten für eine weitreichende Kompatibilität geeignet sind.

Während es nicht zwangsläufig erforderlich ist, eine einzige Plattform zu entwickeln, die für verschiedenen Anwendungsfälle optimiert ist, werden für unterschiedliche Nutzlastkategorien die jeweiligen geeigneten Satellitenklassen identifiziert. Zu diesem Zweck erforscht das RSC<sup>3</sup> Plattformen, die mittels unterschiedlicher Philosophien eine Versatilität in der Anwendung versprechen:

- CubeSats für eine Standardisierung in der Schnittstelle zum Trägersystem
- Flexible Avionik-Systeme, die eine Anbindung beliebiger Nutzlasten unterstützen
- Robuste Strukturen, die mechanische Anbringung von Komponenten ohne Delta-Qualifizierung ermöglichen

Tactical Responsive Space muss als ein Trade-off zwischen der Reaktionszeit und dem Umfang an Qualifizierungsmaßnahmen gesehen werden. In diesem Kontext spielt die Optimierung von Prozessen zur Integration, Test und Validierung eine entscheidende

Rolle. In der RSTEC werden diese Prozessabläufe erforscht und an Responsive Space Bedarfe angepasst.

### Bevorratung von Satelliten-Komponenten und Nutzlasten und Einlagerung von startfähigen Satelliten

Eine reaktionsschnelle Verbringung einer Nutzlast auf den Orbit kann alternativ erzielt werden, wenn die erforderlichen Instrumente auf Kompatibilität mit Plattformen geprüft wurden und dann für eine schnelle Integration bevorratet werden. Mittels der TULBE-Umgebung kann die Lagerfähigkeit von Plattform-Komponenten (wie Batterien, Schwungräder) und Instrumenten (wie Degradierung durch Kontaminierung) erforscht werden und Empfehlungen abgeleitet werden.

### Responsive Launch

Das Startsegment des RSC<sup>3</sup> erforscht zusammen mit dem Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik hybride Antriebstechnologien für Raketenstufen und testet diese an den Raketenmotoren-Testständen am DLR-Standort in Trauen. Die inerten feststoffförmigen Treibstoffe, die mit flüssigen Oxidatoren zur Reaktion gebracht werden, eignen sich als lagerfähige Antriebssysteme, die bei Bedarf reaktionsschnell gestartet werden können.

Darüber hinaus steht das RSC<sup>3</sup> im Austausch mit verschiedenen europäischen und nordamerikanischen Startdienstleistern. Zusammen mit anderen DLR-Instituten stellt das RSC<sup>3</sup> Betrachtungen an zu luftgestützten Raketenstarts (sog. Air Launch) sowie Starts von seegestützten Plattformen. In Zusammenarbeit mit sog. Microlauncher Startups betrachtet das RSC<sup>3</sup> Konzepte zur Verbringung von Kleinsatelliten in dedizierte Orbits.

### Verlegen von Satelliten innerhalb des Orbits

Bereits im Orbit befindliche Satelliten können unter dem Aspekt des Tactical Responsive Space einer reaktionsschnellen Anpassung Ihres Operationsumfelds unterworfen sein. Hier spielt die Agilität von weltraumgestützten Systemen eine wesentliche Rolle. In diesem Kontext werden im Weltraumsegment verschiedene Antriebssysteme für unterschiedliche Kleinsatellitenklassen betrachtet, um die Anpassung einer Mission an neue Aufklärungs-Bedarfe zu ermöglichen.

Die erste Mission OTTER des RSC<sup>3</sup> wird hierzu einen Beitrag leisten: Der 3U-CubeSat wird in einem Very Low Earth Orbit (VLEO) ausgesetzt werden und in einer Höhe von 250 – 350 km mittel AIS (Automatic Identification System) -Sensor und optischer Kamera ein maritimes Lagebild erstellen. Demonstriert wird danach die Anhebung auf einen operationellen Orbit in 400 km Höhe.

### Flexible Inbetriebnahme und Betrieb

Das Bodensegment des RSC<sup>3</sup> entwickelt unterschiedliche Konzepte zum flexiblen, verteilten und verlegbaren Betrieb von Satelliten. In diesem Zusammenhang werden Missionskontrollsysteme erprobt, die auf mobilen Rechnern, das sog. Verlegfähige Compact

Control Center (V3C), [6], in mobile Bodenstationsnetzwerke eingebunden werden können. Somit können Satelliten im Fall von Konflikten oder Katastrophenlagen von den Einsatzkräften taktisch genutzt werden. Das RSC<sup>3</sup> erweitert die Schnittstellen des V3C mit unterschiedlichen Satelliten-Systemen, um die Kompatibilität im Einsatz zu erhöhen.

### 3.3 Beiträge des RSC<sup>3</sup> zu Strategic Responsive Space

#### Hybride Architekturen und Interoperabilität / Operationelle Konzepte und Anwendungsfälle / Konstellationen und Skalierbarkeit

Das RSC<sup>3</sup> führt im Auftrag des BMVg und der Europäischen Union (EU) als Konsortialführer verschiedene Studien zur ganzheitlichen Betrachtung von Weltraumarchitekturen unter dem Aspekt Responsive Space durch.

Das RSC<sup>3</sup> führt ein Konsortium von 35 europäischen Partnern aus Industrie und Forschungseinrichtungen an, um für die EU, gefördert vom European Defence Fund (ED), eine ganzheitliche Untersuchung von notwendigen Responsive Space Konzepten anzustellen. „REACTS zielt darauf ab, den europäischen Mitgliedstaaten eine neue disruptive und kooperative Verteidigungsfähigkeit zur Verfügung stellen: ein belastbares und skalierbares Netzwerk an Responsive Space Systems (RSS), das vollständig interoperabel ist, das in der Lage ist, Satelliten zu starten und innerhalb von 72 Stunden mit der Datenübertragung zu beginnen. Das Projekt wird Definition einer ganzheitlichen Architektur auf der Grundlage der Bedürfnisse der Endnutzer, Entwicklung eines Betriebskonzepts (CONOPS), eine Roadmap für jedes technische Segment des RSS-Netzwerks von Systemen erstellen, eine Analyse und Beschreibung der RSS-Schnittstellenstandards, Entwurf einer softwarebasierten Konfiguration und simulieren die erreichbare Reaktionsfähigkeit.“, [10].

Parallel führt das RSC<sup>3</sup> mit Partnern aus der Industrie und dem universitären Umfeld eine Konzept-Studie durch, wie verteidigungsrelevante Aufklärungsfähigkeiten zukünftig auf Kleinsatelliten zur Verfügung gestellt werden können.

In beiden Studien werden Architekturen betrachtet, die die Integration neuer Fähigkeiten (etwa auf Kleinsatelliten) in bestehende (hoheitliche) Systeme ermöglichen, um somit die Reaktivität auf sich ändernde Bedarfe an Aufklärung zu erhöhen. Für verschiedenen Anwendungsfälle werden Trade-Offs für die Auslegung von Konstellationen durchgeführt und operationelle Konzepte abgeleitet.

#### Launch Infrastruktur

In Europa entstehen aktuell mehrere neue Startplätze, die von den aufstrebenden Raketen-Startups als Basis für orbitale Startmöglichkeiten genutzt werden. So wird das Microlauncher Startup Isar Aerospace vom Andøya Space Center aus starten, während in den schottischen Highlands mit dem Space Hub Sutherland und dem Saxa Vord Spaceport auf den Shetland Inseln weitere Launch

Infrastruktur geschaffen wird, die u.a. der Rocket Factory Augsburg als Basis dienen wird. In Canso, Nova Scotia, entsteht durch Maritime Launch Services eine Launch Infrastruktur, die u.a. vom kanadischen Mircolauncher Startup Reaction Dynamics genutzt werden wird. Das RSC<sup>3</sup> steht mit diesen Initiativen im Austausch und wird über bevorstehende Satelliten-Missionen auf diese Infrastruktur zurückgreifen.

Zusätzlich zur Betrachtung von Starts über ein wachsendes Netzwerk an Raketenstartbasen erforscht das RSC<sup>3</sup> Konzepte zur Verbringung von Satelliten über luftgestützte Starts. Durch Einbindung von kommerziellem Anbieter von sog. Air Launches sind Machbarkeitsstudien zum Start von Satelliten aus dem deutschen Luftraum geplant. Daneben steht das RSC<sup>3</sup> im Austausch mit Startups, die neue Konzepte für luftgestützte Trägersysteme zum Aussetzen von Kleinsatelliten entwickeln.

Das RSC<sup>3</sup> steht darüber hinaus im Austausch mit der German Offshore Spaceport Alliance (GOSA), die aus der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone in der Nordsee über seegestützte Plattformen Starts in den Orbit anbieten wollen.

Da Responsive Space einen freien und redundanten Zugang zum Weltraum erfordert, bewertet das RSC<sup>3</sup> die unterschiedlichen sich entwickelnden Infrastrukturen und insbesondere die verlegbaren Startkonzepte bzgl. ihrer Relevanz für eine souveräne und verzugslose Verbringung von Satelliten.

#### Dezentrales Bodensegment

Das RSC<sup>3</sup> erforscht Konzepte, wie zukünftig Satelliten-Missionen von unterschiedlichen Orten aus betrieben werden können. Dazu entwickelt das RSC<sup>3</sup> Bodensegment Ansätze, die über die Einbindung von Cloud-Lösungen ein abgesicherter Zugriff auf das Bodenkontrollsystem aus der Ferne ermöglichen. Diese Konzepte werden im Rahmen der geplanten Mission OTTER und CubeISL erprobt werden.

Darüber hinaus soll der verteilte Betrieb in Kooperation mit Partnern betrachtet werden.

### 3.4 Beiträge des RSC<sup>3</sup> zu Operational Responsive Space

#### Anpassung von Regularien

Im Rahmen der Betrachtung von Air Launch auf luftgestützten Plattformen aus dem deutschen Luftraum heraus werden regulatorische Aspekte für Satellitenstart von deutschem Boden generell betrachtet werden müssen. Das bezieht sich auf die Integration von fliegenden Plattformen für Satellitenstarts in den Luftraum, sowie die Entwicklung von Regularien für boden- oder seegestützten Start aus Deutschland heraus. Zusammen mit Fachinstituten im DLR sowie mit Industriepartnern werden anhand von Anwendungsfällen die regulatorischen Themen identifiziert, die für souveräne orbitale Starts geklärt werden müssen

Darüber hinaus analysiert das RSC<sup>3</sup> die Beschaffungsprozesse, insbesondere in der Bundeswehr, auf eine Verträglichkeit mit verzugsloser Verbringung von (militärischen) Fähigkeiten auf den Orbit. Im Rahmen der Beschaffung der OTTER Mission werden erstmals die Grenzen der Beschaffung für eine reaktionsschnelle Missions-Implementierung beschrieben und Handlungsempfehlungen abgeleitet.

### Technologie-Roadmaps und Vorantreiben von Standards

Das strategische Ziel des RSC<sup>3</sup> Weltraumsegments ist die Entwicklung einer technischen Roadmap für militärische Kleinsatelliten und die Ableitung von Standards und Schnittstellen zur schnellen Integration von Nutzlasten in geeignete Plattformen. Neben der Untersuchung, in welchem Umfang eine generische Plattform die volle Bandbreite an relevanten Nutzlasten abdecken kann, erforscht das RSC<sup>3</sup> die unterschiedlichen verfügbaren Entwicklungskonzepte von Kleinsatelliten und identifiziert die Kompatibilität mit Missions-Bedarfen des Anwenders. Dabei werden unterschiedliche Standards für die Integration von Nutzlasten in Satelliten verglichen und Empfehlungen für die Bundeswehr abgeleitet.

Für spezielle Anwendungsfälle der weltraumgestützten Aufklärung auf Kleinsatelliten untersucht das RSC<sup>3</sup> den Technologiestand und entwirft Roadmaps für die Umsetzung neuer Konzepte, um Aufklärungsbedarfe effizient decken zu können.

### Aufbau eines Responsive Space Ökosystems

Das RSC<sup>3</sup> arbeitet bewusst eng mit der Industrie, KMUs, Startups und anderen Forschungseinrichtungen zusammen. Im Rahmen der Forschung an standardisierter Integration von Nutzlasten in Satelliten beauftragt das DLR die Industrie mit der Herstellung von Plattformen. Insbesondere werden die Hersteller von Kleinsatelliten im Rahmen von Technologiedemonstrations-Missionen einbezogen.

Das RSC<sup>3</sup> untersucht den Mehrwert von Kleinsatelliten-Formationen für reaktionsschnelle Bereitstellung von weltraumgebundenen Fähigkeiten, insbesondere im sicherheitsrelevanten Kontext. Die Ergänzung monolithischer Systeme durch rollierende Konstellation industriell produzierbarer Satelliten, eröffnet wirtschaftliche Chancen für das Ökosystem.

### Nutzungskonzepte

Im Rahmen des Satellitenprojekts OTTER wird das RSC<sup>3</sup> operationelle Konzepte für die Nutzung eines Kleinsatelliten zur Generierung eines maritimen Lagebildes entwickeln. Das Nutzungskonzept wird das Verschneiden der Daten des OTTER-Satelliten mit Daten anderer Sensoriken (etwa von bildgebenden Radarsatelliten) und den verteilten Betrieb betrachten.

### Zwischenstaatliche Nutzungs-Vereinbarung

Das RSC<sup>3</sup> bringt sich in internationale Projektvereinbarung unter dem Responsive Space Capabilities (RSC) Memorandum of Understanding (MoU), ein Zusammenschluss verbündeter Regierung zur Entwicklung von Responsive Space für

sicherheitsrelevante Aspekte, ein. Neben der Erforschung von technischen Lösungen zu Anwendungsfällen von Responsive Space bietet das RSC MoU die Plattform, um über Nutzungskonzepte zwischen verbündeten Staaten nachzudenken: „[...] the MOU allows the exchange of information for harmonizing the participants' military requirements and to assist in defining potential cooperative efforts“, [11]

In diesem Kontext bringt das RSC<sup>3</sup> seine Expertise ein in Projektvereinbarung zur internationalen Kooperation bei der Nutzung von Startbasen und -dienstleistungen (Responsive Launch and Range), zur Nutzung von Kleinstsatelliten (Micro-Satellite Utility) und zur Vernetzung von weltraumgestützten Assets mittels optischer Kommunikation (Military Optical Satellite Communications and Optical Space Data Relay).

Des Weiteren wird das RSC<sup>3</sup> als Konsortialführer der Konzeptstudie Responsive European Architecture for Space, [10], beauftragt durch die EU, auch Aspekte untersuchen, wie durch Vereinbarung zwischen europäischen Staaten zur Nutzung von Ressourcen eine (technisch und finanziell) realisierbare Infrastruktur für Responsive Space in Europa geschaffen werden kann.

## 4 Zusammenfassung

Responsive Space ist eine querschnittliche Disziplin, die unter Einbindung von Fähigkeiten aus der Raumfahrt sowie aus der Sicherheitsforschung Beiträge zum Aufbau einer resilienten Weltrauminfrastruktur und deren Erhalt durch verzugslose Verbringung und Aktivierung von Assets auf dem Orbit beitragen kann.

Responsive Space muss dabei ganzheitlich gedacht werden: Neben der Antwort auf ad-hoc Anforderung (Tactical Responsive Space) müssen die (regulatorischen) Grundlagen geschaffen werden, um operationell in der Lage zu sein, schnell agieren zu können (Operational Responsive Space). Schließlich muss im Sinne der Resilienz und Effizienz Responsive Space im Aufbau der Weltrauminfrastruktur – hierzu gehört neben dem Weltraumsegment auch die Segmente für den Start und den Betrieb von Satelliten – mitgeplant werden, um Weltraumsysteme flexibel und interoperabel zu gestalten (Strategic Responsive Space).

Das Responsive Space Cluster Competence Center (RSC<sup>3</sup>) des DLR widmet sich diesem holistischen Ansatz. Über die Forschungsaufgabe Responsive Space schafft das RSC<sup>3</sup> die notwendige Technologiegrundlage und demonstriert diese in konkreten Anwendungsfällen. Als Cluster-Kompetenzzentrum bringt das RSC<sup>3</sup> Forschungseinrichtungen, Industrie und den Anwender zusammen, um die Nutzungskonzepte und Technologie-Roadmaps abzuleiten.

## 5 Referenzen

- [1] **Schlüsseltechnologien – Raumfahrt**, Webseite des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), Stand 15.08.2023 ([Web Link](#))
- [2] **Für eine zukunftsfähige deutsche Raumfahrt – Die Raumfahrtstrategie der Bundesregierung**,

- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), 2010 ([Web Link](#))
- [3] **Wehrhaft. Resilient. Nachhaltig. Integrierte Sicherheit für Deutschland – Nationale Sicherheitsstrategie**, Auswärtiges Amt (AA), 2023 ([Web Link](#))
- [4] **Konzeption der Bundeswehr – Ausgewählte Grundlinien der Gesamtkonzeption**, Bundesministerium der Verteidigung (BMVg), 2018 ([Web Link](#))
- [5] **Konzeption der Bundeswehr**, Bundesministerin der Verteidigung, 2018 ([Web Link](#))
- [6] **The Site Trauen of the German Aerospace Center – Past, Present and Future of the Largest Test Site for Rocket Engines in Germany**, Georg Poppe, Stefan May, Nora Magdalena Bierwagen, Thino Eggers, 3<sup>rd</sup> Ground-Based Space Facilities Symposium, 06.-08. Dez. 2022, Marseille, Frankreich ([Web Link](#))
- [7] **Design of a sounding rocket upper stage based on the hybrid rocket engine VISERION**, Andrija Dabanovic, Joel Martin, Stefan May, Thino Eggers, CEAS Space Journal, Springer ([doi: 10.1007/s12567-022-00451-2](#)) ISSN 1868-2502 ([Web Link](#))
- [8] **Potential und Entwicklungsstand von Hybridraketenantrieben als Oberstufenantrieb eines reaktionsschnellen Satellitenverbringungs-systems**, Stefan May, Andrija Dabanovic, Joel Martin, Georg Poppe, Nora Magdalena Bierwagen, Thino Eggers. DWT: Angewandte Forschung für Verteidigung und Sicherheit in Deutschland, 08.03.-10.03.2022, Bonn, Deutschland ([Web Link](#))
- [9] **Erfolgreiche Technologiedemonstration von V3C**, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), 2022 ([Web Link](#))
- [10] **REACTS – Responsive European Architecture for Space**, Europäische Union (EU), Bekanntmachung Konzeptstudien-Vergabe im Rahmen des European Defence Fund (EDF) Call 2022 ([Web Link](#))
- [11] **Responsive Space for NATO Operations – Part 2**, The Journal of the JAPCC, Edition 32, 2021 ([Web Link](#))