



**112PRT00001  
Abschlussbericht**

<b>Titel:</b>	<b>Grundlagenentwicklung für einen Technologie- Transfer stratosphärischer Laserkommunikationsterminals hin zu einem Low-Cost System für Kleinsatelliten</b>
<b>Kooperationsverbundvertrag</b>	<b>2016-06-07 S2SBroad</b>
<b>Förderkennzeichen</b>	<b>50 RP 1603</b>
<b>Projektzeitraum:</b>	<b>01.07.2016 - 30.06.2017</b>
<b>Berichtszeitraum:</b>	<b>01.07.2016 - 30.06.2017</b>

**Datum des Berichts: 25 Januar 2018**

**Mynaric Lasercom GmbH**  
(vormals ViaLight Communications GmbH)



## Dokumentenfreigabe

Erstellt:

Autor

  
Michael Soutullo

Datum: 25 Januar 2018

Dokumentenqualität:

  
Nina Hardt

Datum: 25 Januar 2018

Freigegeben:

Projektleiter Mynaric Lasercom

  
Michael Soutullo

Datum: 25 Januar 2018

## Verteiler

Organisation	Org.-Einheit	Name	Anzahl
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt	Raumfahrtmanagement / Förderadministration	Ina Fits	1
Mynaric Lasercom	Projekt-Team	File Server	1

## Änderungsverzeichnis

Ausgabe	Änderung	Datum	Betroffene Seiten	Bemerkungen	Änderungs-freigabe
1	0	30.11.2017	alle	Erstausgabe	
1		24.01.2018	alle	Veröffentlichung als Report von Mynaric. Astro-Feinwerk veröffentlicht separaten Report.	



## Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeines.....	6
1.1 Inhalt des Dokuments .....	7
1.2 Ziele des Vorhabens .....	7
1.3 Vorhabenbeschreibung .....	7
1.4 Zukünftige Projekt-Möglichkeiten .....	9
2. Dokumente.....	10
2.1 Anzuwendende Dokumente.....	10
2.2 Referenzdokumente .....	10
3. Abkürzungen und Begriffe.....	11
4. Darstellung des Projektfortschritts.....	12
4.1 Zusammenfassung der Ergebnisse.....	12
4.2 Arbeitspaketstruktur .....	15
4.3 Zeitplan.....	16
4.4 Status des Projekts .....	18
4.4.1 AP 1000 Projektkoordination .....	18
4.4.2 AP 2000 Systemspezifikation .....	20
4.4.3 AP 3000 Komponentenqualifikation .....	21
4.4.4 AP 4000 Preliminary Design Space Terminal.....	23
4.4.5 Unteraufträge .....	24
4.4.6 Erstellte Dokumente .....	24
4.5 Aussichten auf Erreichung der Projektziele .....	25
4.6 Relevante Ergebnisse Dritter.....	25
4.7 Änderung der Zielsetzung .....	25
4.8 Fortschreibung des Verwertungsplans.....	25
4.8.1 Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte .....	25
4.8.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende .....	25
4.8.3 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende .....	26
4.8.4 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit .....	26



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4-1: Arbeitspaketstruktur .....	15
Abbildung 4-2: Zeitplan .....	17

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1: AP 1000 - Projektkoordination .....	18
Tabelle 4-2: Im Projektzeitraum durchgeführte Workshops und Meetings.....	19
Tabelle 4-3: AP 2000 - Systemspezifikation .....	20
Tabelle 4-4: AP 3000 - Komponentenqualifikation .....	21
Tabelle 4-5: AP 4000 - Preliminary Design Space Terminal.....	23



## 1. Allgemeines

Die Mynaric Lasercom GmbH (vormals ViaLight Communications GmbH) hat seit ihrer Ausgründung aus dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) 2009 unterschiedliche Technologie-Entwicklungsprojekte in Zusammenarbeit mit dem DLR realisiert. Dabei wurden für zwei Kunden auf dem Telekommunikationsmarkt neue Produkte entwickelt. Die erste Entwicklung führte zu einer Stratosphärenplattform mit einer Downlink-Geschwindigkeit von 1 Gbps. Die aktuellste Entwicklung beinhaltet die Demonstration einer Flugzeugplattform mit einer Downlink-Geschwindigkeit von 10 Gbps.

Nach einer sorgfältigen Marktanalyse entschloss sich Mynaric 2016, die Entwicklung eines satelliten-gestützten Laserterminals für den niedrigen Erdorbit in Angriff zu nehmen. Das gleichzeitig 2016 gestartete Projekt S2SBroad lieferte sehr wichtige Inputs für die Startphase dieses Projektes. Mynaric wird auch weiterhin die Ergebnisse des Projektes S2SBroad in vollem Umfang für die erfolgreiche Realisierung des Satellitenterminal-Projektes nutzen.

Die Firma Astro- und Feinwerktechnik Adlershof GmbH verfügt als einer der deutschen Kleinsystemintegratoren über mehr als 20 Jahre Erfahrung im Bau kostengünstiger Komponenten und Subsysteme für Satelliten und interplanetarischer Sonden, sowie kompletter Satellitenplattformen. Im Kommunikationsbereich ist AFW in mehrere technologiegetriebene Projekte involviert, z. B. Heinrich-Hertz-Nutzlasten (On-Board-Computer). AFW unterstützt Mynaric bei der Entwicklung einer kostengünstigen Weltraumversion des Laserkommunikationsendgeräts – basierend auf dem existierenden stratosphärischen System. Insbesondere die Erfahrungen in der Systemtechnik, der thermischen Steuerung, der elektronischen und mechanischen Konstruktion, der Produktsicherung und der Montage, Integration und Verifikation (AIV) wurden zur erfolgreichen Bearbeitung dieses Projektes eingesetzt.

Im Projekt S2SBroad sollen nun die Grundlagen entwickelt werden, um die heutigen stratosphärischen Terminals auf Kleinsatelliten einsetzen zu können. Das Projekt wird im Rahmen der finanziellen Möglichkeiten bis zu einem Preliminary Design getrieben, also es sollen für alle Terminal-Teilsysteme die Grundlagenentwicklungen durchgeführt werden, so dass bis zum Ende des Projektes die technischen Lösungen absehbar sind. Die Preliminary Design Reife soll den Einstieg in einer weiterführenden zweiten Phase erleichtern (nicht Teil von S2SBroad), in dem die Terminals dann bis zur Marktreife entwickelt werden. Diese zweite Phase wird etwa 2 Jahre in Anspruch nehmen.



## 1.1 Inhalt des Dokuments

Dieser Abschlussbericht beschreibt die Arbeiten des Projektes mit dem Titel „Grundlagenentwicklung für einen Technologie-Transfer stratosphärischer Laserkommunikationsterminals hin zu einem Low-Cost System für Kleinsatelliten“. Es werden die Arbeiten innerhalb des Projektes in den einzelnen Arbeitspaketen dargelegt. Änderungen gegenüber dem ursprünglichen Antrag werden beschrieben und entsprechend begründet.

## 1.2 Ziele des Vorhabens

Satellitenkommunikation ist ein wichtiger Bestandteil unserer modernen Zivilisation. Um den stetig steigenden Bedarf nach immer mehr Bandbreite zu decken, werden neue Satelliten benötigt, welche auf immer höheren Frequenzen kommunizieren. Durch die stetig steigende Zahl von Satelliten mit immer größerer Bandbreite, steht die Frequenzkoordination durch die International Telecommunication Union (ITU) vor einer großen Herausforderung. Dieses eröffnet einen lukrativen Markt für Datenübertragung mittels Laserstrahlen, welche nicht durch die ITU koordiniert werden muss. Die innovative Laser-Kommunikation erreicht heute Datenraten von mehr als 10 Gbps. In ersten Satellitenmissionen wurde diese Technologie bereits erfolgreich erprobt.

Traditionelle Telekommunikationssatelliten waren bisher sehr groß und wurden mit enormen Kosten und hohem Aufwand unter Berücksichtigung traditioneller Raumfahrtnormen entwickelt. Neueste Entwicklungen haben gezeigt, dass Satelliten im Rahmen von „New-Space-Standards“ unter akzeptablen Risiken zu erheblich niedrigeren Kosten entwickelt werden können. Dabei kommen erheblich günstige COTS-Bauteile zum Einsatz, die in einem „Screening“ auf Raumfahrttauglichkeit getestet werden. Mehrere internationale Konsortien planen derzeit Mega-Satelliten-Konstellationen mit dem Ziel eines Breitband-Internet-Zugangs für entfernte Regionen der Erde, in denen mehr als 50% der Weltbevölkerung bisher keinen Zugang zum Internet hat. Dafür werden mehrere Tausend kostengünstige Satelliten benötigt, damit dieses Geschäftsmodell erfolgreich umgesetzt werden kann.

## 1.3 Vorhabenbeschreibung

Das Ziel von S2SBroad ist es, der Weiterentwicklung von Mynaric's Laserterminals MLT-20 und MLT-70 hin zu einem Low-Cost Laserterminal für den Einsatz auf kleinen Satelliten zum Durchbruch zu verhelfen. Mynaric ist für die Partnerschaft mit AFW, einem Unternehmen mit Erfahrung im Bereich der kosteneffizienten Satellitensysteme, sehr dankbar. Jedem der Projektpartner ist bewusst, dass in der Raumfahrtentwicklung



hohe Qualitätsstandards gefordert werden, die gegen die angestrebte kosteneffiziente Produktion abgewogen werden müssen, um den erforderlichen Marktpreis erreichen zu können. Es ist geplant, ein Terminal zu entwickeln, das für die Kommunikation zwischen Satelliten, sowie auch für die Kommunikation zur Erde genutzt werden kann. Eine detaillierte Differenzierung der verschiedenen Terminaltypen ist für eine spätere Projektphase nach dem PDR (Preliminary Design Review) geplant.

Die Ergebnisse und der Nutzen dieser Bemühungen werden in Kapitel 4 näher erläutert.

Gelingt es in diesem Projekt, ein Preliminary Design für ein Laserterminal für Satellitenanwendungen zu geringen Herstellungskosten, kleiner einer Million Euro (Recurring Cost), und mit geringer Größe, Gewicht und Leistungsverbrauch (SWaP), aber doch mit ausreichenden Qualitätsmerkmalen zu entwickeln (Betrieb im erdnahen Orbit (LEO) von 5-7 Jahren) – nach dem Motto: „so einfach wie möglich, so gut wie nötig“ – so sehen wir ein einmaliges, weltweites Potential mit einer möglichen hochspannenden Alleinstellung. Als Kunden würden sich nicht nur Leuchtturm-Initiativen mit großen Satellitenkonstellationen wie OneWeb, SpaceX oder LeoSat anbieten, sondern auch die Hersteller/Betreiber einer stetig steigenden Anzahl von Kleinsatelliten einerseits aus den klassischen Weltraumnationen aber zunehmend auch aus asiatischen Ländern wie Indien, China, Indonesien, etc. Kleinsatellitenprojekte sind auf einen Niedrigkostenansatz mit innovativen Ideen angewiesen und setzen umfangreich auf terrestrische kommerzielle Produkte (COTS), die durch zusätzliche Maßnahmen für die Raumfahrt qualifiziert werden. Die Kosten der Kommunikationslösungen sind zentral für die Tragfähigkeit der Geschäftsmodelle. Wir sehen S2SBroad als Grundstein für den Aufbau eines neuen Bereichs „Affordable Laser Communication for Micro-Satellites“.



**Communication:**

- KASKILO
- SpaceX
- OneWeb
- LaserLight
- LeoSat
- Telesat



***Free Space Optical solutions are being pursued as the core technology for several constellation enterprises or is being investigated for use in expansions beyond the first deployments.***

Abbildung1: Geplante Konstellations-Anwendung von Cubesat-Satelliten bis zu großen Satelliten.

#### 1.4 Zukünftige Projekt-Möglichkeiten

Über dieses Projekt hinaus zeichnen sich bereits heute mögliche, eher wissenschaftliche Anschlussprojekte in den nächsten fünf Jahren ab, wie z.B. nicht-mechanische Strahlnachführung für die Miniaturisierung, Laserquellen und Laserverstärker mit hoher Effizienz, hochsensible Empfänger, hochintegrierte Optiken, oder alternative Materialien und Materialpaarungen.



## 2. Dokumente

### 2.1 Anzuwendende Dokumente

Die hier aufgelisteten Dokumente gelten in vollem Umfang und ergänzen den Inhalt dieses Dokumentes. Sie sind verbindlich bei der Erfüllung dieses Dokumentes anzuwenden.

Referenz Nr.	Dokumentennummer	Dokumententitel
AD01	N/A	Vorhabensskizze 18.1.2016 v2
AD02	S2S-AFW-RP-002	Zwischenbericht

### 2.2 Referenzdokumente

Die hier aufgelisteten Dokumente sind sinngemäß bei der Erstellung dieses Dokumentes berücksichtigt worden. Sie sind nicht Gegenstand vertraglicher Forderungen und haben rein informativen Charakter.

Referenz Nr.	Dokumentennummer	Dokumententitel
RD01	20160713	MoM Kick-off Meeting



### 3. Abkürzungen und Begriffe

Abkürzung	Beschreibung
ACS	Attitude Control System
AD	Anzuwendene Dokument
AFW	Astro- und Feinwerktechnik Adlershof GmbH
AIV	Assembly, Integration and Verification
COTS	Commercial off-the-shelf
CPA	Coarse Pointing Assembly
DDVP	Design, Development and Verification Plan
ES	Electrical System
FMECA	Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis
FPA	Fine Pointing Assembly
Gbps	Gigabit pro Sekunde
HW	Hardware
ITU	International Telecom Union
LET	Laser-Ethernet Transceiver
MAIT	Manufacturing, Assembly, Integration and Testing
MYN	Mynaric Lasercom GmbH
MS	Mechanical System
PAA	Point Ahead Assembly
PL	Dokumententyp „Plan“
PSU	Power Supply Unit
RD	Referenzdokumente
RFE	Receiver Front End
RP	Dokumententyp „Report“
S2SBoard	Stratosphere to Space for Broadband Laser Communication
SP	Dokumententyp „Specification“ (Spezifikation)
TCC	Terminal Control Computer
VLC	ViaLight Communications GmbH
WCA	Worst Case Analyse



## **4. Darstellung des Projektfortschritts**

### **4.1 Zusammenfassung der Ergebnisse**

Das geförderte Projekt wurde gemäß der in dem Projektantrag beschriebenen Zielsetzung vollständig durchgeführt. Die Ergebnisse aus den verschiedenen Arbeitspaketen trugen deutlich zu dem erzielten vorläufigen Design des Raumfahrtterminals bei. Wie üblich bei technologischen Entwicklungsprojekten, konzentrierten sich die ersten Arbeitspakete auf die Entwicklung der Anforderungen, Projektplanung, Schnittstellendefinition, Entscheidungen zur Modellphilosophie, Entwicklung von Konzepten und deren Auswertungen. Jedes der erreichten Ergebnisse ist notwendig, um die Grundlage für eine erfolgreiche Systementwicklung zu legen. Auf Basis der erfolgreichen Vervollständigung der Systemanforderungen im April 2017, wurde S2SBroad weiter in Richtung des PDR (Preliminary Design Review) im Dezember 2017 geführt. Auch wenn das Projekt im Juni 2017 abgeschlossen wurde, werden die grundlegenden Dokumente bei Mynaric als entscheidende Bausteine des damit verbundenen Raumfahrtterminal-Projektes verwendet. Mit dem vorläufigen Design konnte ein wichtiger Meilenstein hin zu einem weltraumtauglichen System abgeschlossen werden, mit dem nun eine entsprechende Kundenakquise vorangetrieben werden kann.



Tabelle 4-2 zeigt einen Überblick über die während der Projektlaufzeit durchgeführten Workshops und Meetings.

Am Ende wurden die im Projekt entstandenen Dokumente zwischen den Projektpartnern iteriert und finalisiert. Diese bilden eine wertvolle Grundlage für die Weiterentwicklung des Space-Terminals im Anschluss an das Förderprojekt.

Die in dem Projektantrag vorgeschlagene Vorgehensweise beinhaltet außerdem eine Verifikationsphase, wobei das zu verifizierende Laserterminal auf der Internationalen Raumfahrtstation (ISS) mitfliegen könnte. Dazu könnte es im Jahr 2019 auf der MUSES (Multi-User System for Earth Sensing) Plattform montiert und betrieben werden. Auch über den Abschluss des S2SBroad-Projektes hinaus wurde vorgeschlagen, ein entsprechend angepasstes Terminal auf der MUSES Plattform zu installieren, und eine Verifikation seiner Funktion und Leistungsfähigkeit in der Umlaufbahn durchzuführen. Diskussionen hierzu wurden bereits mit den Firmen Teledyne Brown Engineering, NASA und mit CASIS (NASAs Organisation welche den Zugang zu ISS-Payloads koordiniert) geführt. Die Hauptgründe diesen Vorschlag nicht weiter zu verfolgen sind in der folgenden Aufstellung genannt:

- 1) Um eine Kompatibilität zwischen Mynaric's kompaktem Design und MUSES zu erhalten, werden erhebliche Modifikationen im Design des Laserterminals erforderlich.
- 2) Zur Beginn des Projektes zeigte sich von Seiten des ISS Program Offices keine Notwendigkeit für eine signifikante Erhöhung des Datendurchsatzes. Für die existierenden Payloads auf der ISS waren die bestehenden Kommunikationsmöglichkeiten ausreichend.
- 3) Es hätten Empfängerterminals nahe der ISS und möglicherweise im gleichen Orbit platziert werden müssen, um die angestrebte Kommunikationsverbindung ausreichend zu testen. Diese Angelegenheiten beinhalten extreme Herausforderungen, die durch das ISS Programm, sowie den Satelliten-Provider gelöst hätten werden müssen.
- 4) Die notwendigen Sicherheitsvorkehrungen um die Payloads zur ISS zu fliegen wären sehr kostenaufwendig. Es würden erhebliche Maßnahmen erforderlich werden, um die Sicherheit der ISS und seiner Besatzung zu gewährleisten.
- 5) Alternative Herangehensweisen wurden mit Architekten von Laserkommunikationskonstellationen definiert, welche die geförderte Herstellung von Demonstrationsterminals beinhalteten.

Der geplante Flug mit MUSES zur ISS hätte wertvolle Erfahrungen und Möglichkeiten zur Entwicklung der Fähigkeiten des Mynaric-Teams bedeutet. Der alternative Ansatz der in Punkt 5 im vorangehenden Absatz



beschrieben wurde, wurde im Frühjahr 2017 bereits umgesetzt. Hierfür verabredeten Mynaric und einer der Kunden für Satelliten-Konstellationen unsere Terminalentwicklung in eine weitreichende Machbarkeitsstudie mit aufzunehmen. Neben Mynaric, welche für die Entwicklung des Laserterminals verantwortlich sind, wurden durch den Kunden weitere Industriepartner definiert. Diese beinhalten einen Satelliten-Hersteller, welcher für die gesamte Satelliten Architektur, Definition und Abwägung verantwortlich ist, sowie einen Partner, der die für die Kommunikation zur Erde notwendigen Radio-Frequenz-Bestandteile verantwortet. Die Programmplanung sieht die Entwicklung von zwei Laserterminals durch Mynaric vor, die an den Partner für die Satelliten-Integration geliefert werden um einen für 2019 geplanten Demonstrationsflug zu ermöglichen. Diese Planung bleibt weiterhin bestehen um die Anwendung bei dem Kunden zu unterstützen. Darüber hinaus hat Mynaric den Vorschlag auch an weitere Anbieter dieser Konstellationen gerichtet, da der Markt in den letzten Jahren deutlich gewachsen ist.



## 4.2 Arbeitspaketstruktur

Die beabsichtigte S2SBroad Work Breakdown Structure wurde während des gesamten Projekts hindurch verfolgt. Es wurde auf Basis der Systemarchitektur der erforderlichen Komponenten entwickelt. Die im S2SBroad geleisteten Arbeiten umfassten mehrere Arbeitspakete als Teil der Definition eines Gesamtsystemes und als Entwicklungsansätze.

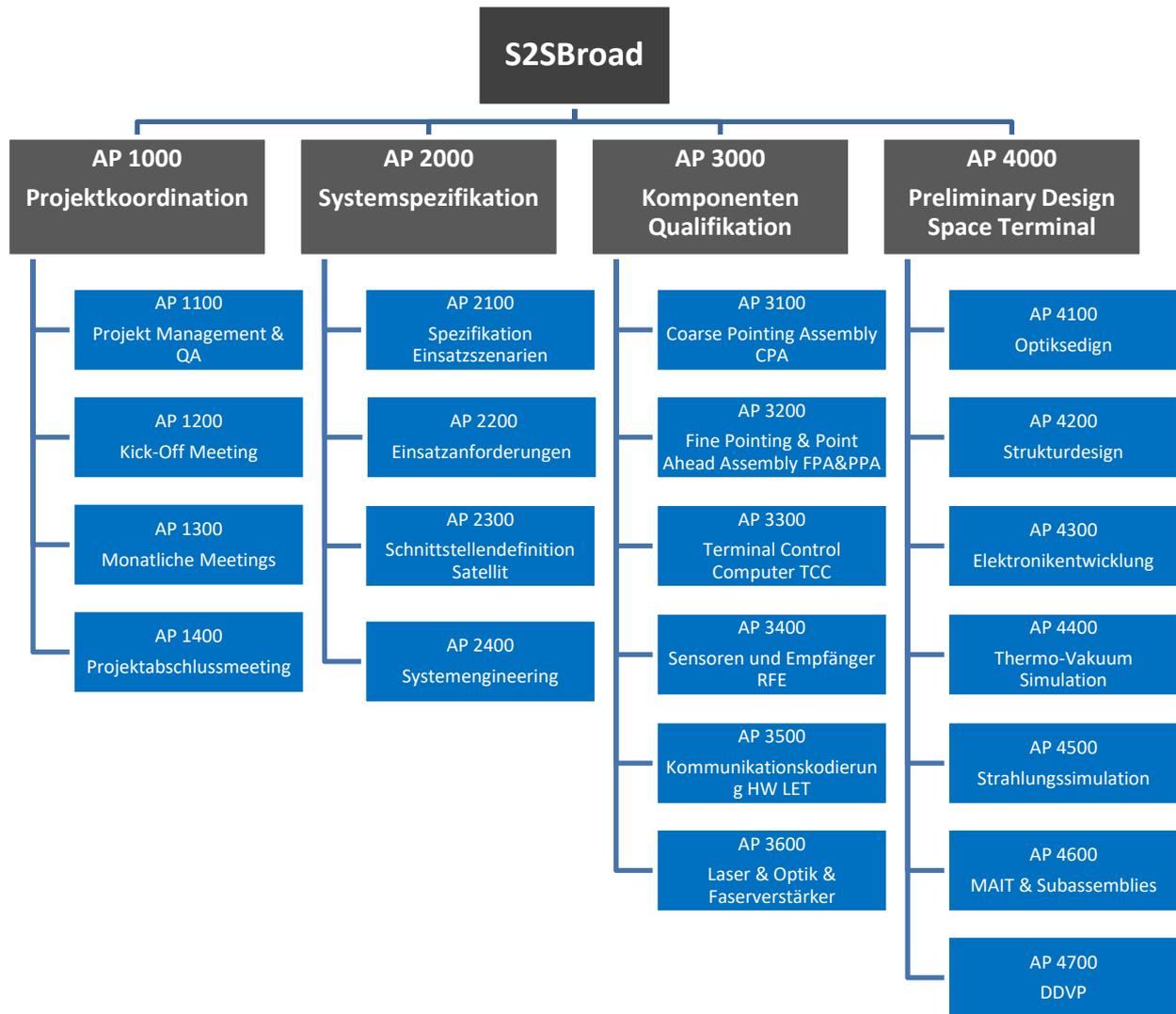


Abbildung 4-1: Arbeitspaketstruktur



### 4.3 Zeitplan

Der Zeitplan des Projektes ist in Abbildung 4-2 dargestellt. Die inhaltliche Umsetzung des Zeitplans wurde mit dem Projektpartner in den Projektmeetings sowie in zweimal im Monat abgehaltenen Telefonkonferenzen abgestimmt.



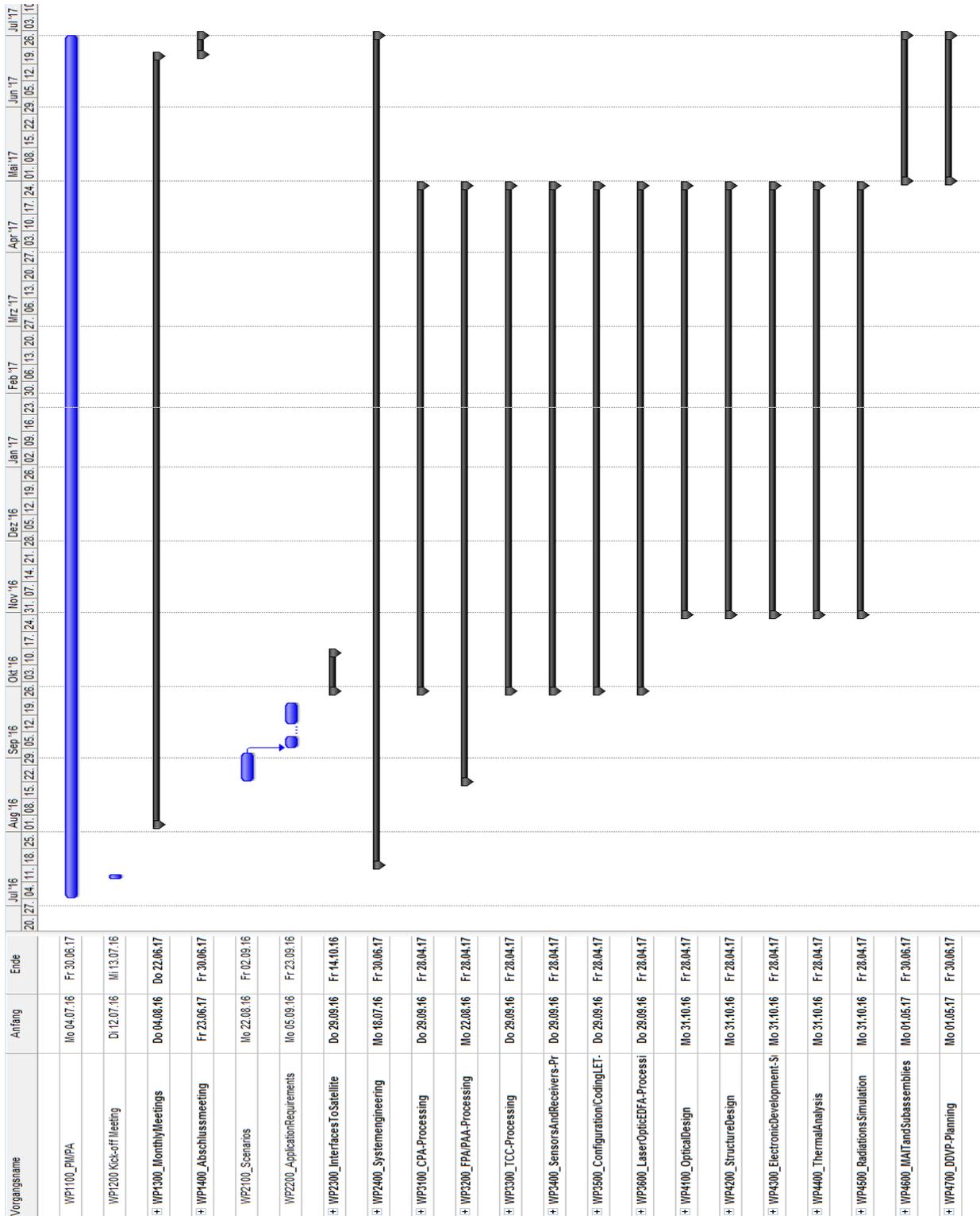


Abbildung 4-2: Zeitplan



## 4.4 Status des Projekts

Der Status eines jeden einzelnen Arbeitspaketes ist im folgenden Abschnitt dargestellt. Der jeweilige Abschlussstatus, der während des S2SBroad Projektes erreicht wurde, ist in der Spalte „Arbeitspaket Status“ aufgeführt. Die tatsächliche Arbeitsteilung zwischen den Projektpartner Mynaric und Asto- und Feinwerktechnik innerhalb der Arbeitspakete sind in den Spalten „MYN Beitrag“ und „AFW Beitrag“ dargelegt.

### 4.4.1 AP 1000 Projektkoordination

**Tabelle 4-1: AP 1000 - Projektkoordination**

Geplante Arbeiten im Berichtszeitraum	Arbeitspaket Status	Geplante Laufzeit	MYN Beitrag	AFW Beitrag
AP 1100 Projekt Management & Qualitätssicherung	Abgeschlossen	01.07.2016 bis 30.06.2017	75%	25%
AP 1200 Kick-Off Meeting	Abgeschlossen	12- 13.07.2016	75%	25%
AP 1300 Monatliche Meetings	Abgeschlossen	01.07.2016 bis 30.06.2017	75%	25%
AP 1400 Projektabschlussmeeting	Abgeschlossen	Am 30.06.2017	50%	50%

Jeden Monat wurden zwei Telefonkonferenzen, sowie zusätzliche persönliche Treffen zwischen Mynaric und AFW durchgeführt, wie Tabelle 4-1 zeigt. Jede Konferenz wurde durch die Aufstellung einer gut strukturierten Agenda und die Suche nach dem am Besten geeigneten Standort vorbereitet. Meistens wurden persönliche Treffen in den AFW Einrichtungen in Berlin oder bei Mynaric in Gilching durchgeführt. Diese gut geplanten Treffen ermöglichten beiden Unternehmen den Austausch der effektivsten Daten und Informationen und bildeten die Grundlage für Diskussionen, die effizient die Projektziele unterstützten. Daraus resultierte die Lieferung von qualitativ hochwertigen Produkten zwischen den Partnern.



**Tabelle 4-2: Im Projektzeitraum durchgeführte Workshops und Meetings**

<b>Workshop/Treffen</b>	<b>Titel</b>	<b>Ort und Datum</b>
Meeting 1.0	Kick-Off Meeting	Gilching, 12 Juli 2016
Workshop 1.1	FMECA/WCA und Missionsszenarien	Berlin, 12-14 September 2016
Workshop 1.2	Electronic System Trade-Off	Berlin, 05-07 Oktober 2016
Workshop 2.0	Electronic System Development	Gilching, 13-14 Oktober 2016
Meeting 2.0	InnoSpace Workshop	Bonn, 15 November 2016
Workshop 3.0	Structural Design and Thermal Analysis	Berlin, 06 Dezember 2016
Workshop 4.0	Satellite micro vibration and attitude control	Berlin, 27 März 2017
Meeting 3.0	Progress Meeting (mit DLR)	Gilching, 11 April 2017
Meeting 4.0	Abschlussmeeting	Berlin, 30 Juni 2017
Meeting 5.0	Projektpräsentation in Bonn	Bonn, Oktober 2017



#### 4.4.2 AP 2000 Systemspezifikation

Tabelle 4-3: AP 2000 - Systemspezifikation

Geplante Arbeiten im Berichtszeitraum	Arbeitspaket Status	Geplante Laufzeit	MYN Beitrag	AFW Beitrag
AP 2100 Spezifikation und Einsatzszenarien	Abgeschlossen	01.07.2016 bis 30.03.2017	75% - Created Final Document	25% - Created Preliminary Document
AP 2200 Einsatzanforderungen	Abgeschlossen	01.07.2016 bis 30.03.2017	75% - Created Final Document	25% - Created Preliminary Document
AP 2300 Schnittstellendefinition Satellit	Abgeschlossen	01.07.2016 bis 30.04.2017	90% - Created Final Document	10% - Created Draft Document
AP 2400 Systemengineering	Abgeschlossen	18.07.2016 bis 03.04.2017	100% - Created Requirements Document	N/A

Ein Beispiel einer solchen Arbeit zwischen den beiden Unternehmen für das Arbeitspaket AP 2400 war der Vergleich der Ergebnisse von zwei verschiedenen Thermal-Simulations-Werkzeugen. Diese Aufgabe erforderte umfangreiche Thermalanalysen bei beiden Projektpartnern. Da Mynaric weniger Erfahrungen mit Thermalanalysen orbitaler Systeme hatte, wurden verschiedene Vergleichsrechnungen auf beiden Seiten durchgeführt. Bei AFW kam das Analysetool ESATAN zum Einsatz und bei Mynaric das Tool von COMSOL. Dabei war AFW insbesondere bei der Erstellung der Thermalmodelle von Beispielsatelliten mit zwei Terminals behilflich. In einem ständigen Informationsaustausch wurden die Modellparameter für die Testmission mit einer polaren Umlaufbahn in einer Höhe von 1.200 km iteriert und die Ergebnisse verglichen. Auf dem Thermalworkshop wurden die Ergebnisse und Erfahrungen zwischen beiden Partnern umfangreich diskutiert. Als Ergebnis stellte sich heraus, dass beide Analysetools ihre Berechtigung haben. ESATAN bietet durch eine schnellere Rechenzeit Vorteile insbesondere auf der Systemebene. Es können somit mehrere Szenarien in relativ kurzer Zeit untersucht und optimiert werden. Weiterhin ist es sehr hilfreich bei der Ableitung von Thermalbedingungen bei unterschiedlichsten Missionsparametern. COMSOL eignet sich dagegen eher für Analysen auf Subsystemebene. Jedoch steigt durch den höheren Detaillierungsgrad in der Modellierung die Rechenzeit deutlich an. Mynaric und AFW stellten fest, dass COMSOL geeignet ist, Temperaturen und Wärmefluss innerhalb der Laserterminals durch die während des Weltraumeinsatzes



entstehenden Temperaturverteilungen zu analysieren. Zur Bestimmung der Temperaturverteilung auf den äußeren Oberflächen des Laserterminals, unter Einfluss der verschiedenen auftretenden Missionsparameter im Weltraum, wird ESATAN verwendet. Auf diesem Wege ist eine effektive Analyse des detaillierten Systemverhaltens innerhalb und außerhalb der Terminals unter Berücksichtigung der komplexen Umgebungseinflüsse möglich.

#### 4.4.3 AP 3000 Komponentenqualifikation

Tabelle 4-4: AP 3000 - Komponentenqualifikation

Geplante Arbeiten im Berichtszeitraum	Arbeitspaket Status	Geplante Laufzeit	MYN Beitrag	AFW Beitrag
AP 3100 Coarse Pointing Assembly (CPA)	Abgeschlossen	29.09.2016 bis 28.04.2017	100%	N/A
AP 3200 Fine Pointing & Point Ahead Assembly (FPA & PAA)	Abgeschlossen	22.08.2016 bis 28.04.2017	100%	N/A
AP 3300 Terminal Control Computer (TCC)	Abgeschlossen	29.09.2016 bis 30.06.2017	50%	50%
AP 3400 Sensoren und Empfänger (RFE)	Abgeschlossen	29.09.2016 bis 28.04.2017	50%	50%
AP 3500 Kommunikationskoordinierung HW LET	Abgeschlossen	29.09.2016 bis 28.04.2017	50%	50%
AP 3600 Laser & Optik & Faserverstärker	Abgeschlossen	29.09.2016 bis 28.04.2017	50%	50%



Arbeitspaket AP 3100 führte zu grundlegenden Vorschlägen für das strukturelle Design des Coarse Pointing Assembly (CPA) im Zusammenhang mit den beim Start entstehenden Vibrationen, Erschütterungen und den Belastungen im Orbit. Darüber hinaus hat AFW wichtige Inputs zur mechanischen Entwicklung notwendiger Mechanismen hinsichtlich Raumfahrttauglichkeit und Zuverlässigkeit zugearbeitet.

Im Zuge des Arbeitspakets AP 3300 wurden durch AFW Strahlungsanalysen für zukünftige Einsatzszenarien durchgeführt und mit dem Projektpartner diskutiert. Die erarbeiteten Daten werden von Mynaric benutzt, um Einsatzanforderungen für Komponenten und Subsysteme des Laserterminals abzuleiten.

Arbeitspaket AP 3400 untersuchte das Umfeld von Mikrovibrationen am Satelliten und seine Auswirkungen auf die Terminals, um die Kompatibilität der Satelliten mit den Laserkommunikationsterminals durch entsprechende Anforderungen an den Satelliten sicherzustellen. Ein weiterer Schwerpunkt war die Lageregelung von Satelliten. In einem ACS-Workshop wurde das Verhalten des Lageregelungssystems eines Satelliten dargelegt. Es wurden die wesentlichen Störgrößen, die entsprechenden Sensoren sowie die benötigten Aktuatoren intensiv erläutert. Weiterhin wurden die Anforderungen an das Lageregelungssystem für ein zukünftiges Terminal diskutiert. Beispielhaft wurden die Lageregelungssysteme mit den verschiedenen Kontrollmodi und ihren entsprechenden Lagegenauigkeiten aus den Satellitenprogrammen TET-1 und BIROS vorgestellt. Des Weiteren wurden typische Quellen für Mikrovibrationen vorgestellt. Anhand von typischen Spektren von Reaktionsrädern wurden entsprechende Anforderungen vorgeschlagen. Darüber hinaus wurden unterschiedliche Ansätze zur Testung diskutiert.



#### 4.4.4 AP 4000 Preliminary Design Space Terminal

Tabelle 4-5: AP 4000 - Preliminary Design Space Terminal

Geplante Arbeiten im Berichtszeitraum	Arbeitspaket Status	Geplante Laufzeit	MYN Beitrag	AFW Beitrag
AP 4100 Optikdesign	Abgeschlossen	31.10.2016 bis 28.04.2017	100% ZEMAX Optics Design	N/A
AP 4200 Strukturdesign	Abgeschlossen	31.10.2016 bis 28.04.2017	100% CAD Modeling	N/A
AP 4300 Elektronikentwicklung	Abgeschlossen	31.10.2016 bis 15.12.2016	50% Concept Developed	50% Radiation Environment s
AP 4400 Thermal-Vakuum Simulation	Abgeschlossen	31.10.2016 bis 28.04.2017	50% using COMSOL	50% using ESATAN
AP 4500 Strahlungssimulation	Abgeschlossen	31.10.2016 bis 28.04.2017	N/A	100% Radiation Modeling
AP 4600 MAIT and Subassemblies	Abgeschlossen	01.05.2017 bis 30.06.2017	100% Product Tree	N/A
AP 4700 DDVP	Abgeschlossen	01.05.2017 bis 30.06.2017	50% Final Document	50% Draft Document



#### 4.4.5 Unteraufträge

Während des Projektes wurden plangemäß keine Unteraufträge von AFW vergeben.

#### 4.4.6 Erstellte Dokumente

Folgende Dokumente wurden innerhalb der Projektlaufzeit erstellt. Dokumente mit dem Präfix S2S-AFW wurden in Form von Entwurfsvorlagen von AFW entworfen.

Dokumentnummer	Titel	Typ	Status
S2S-AFW-PL-001	List of Abbreviations	PL	Abgeschlossen
S2S-AFW-RP-001	Radiation Analysis Report	RP	Abgeschlossen
S2S-AFW-RP-002	1. Zwischenbericht (Interim Report)	RP	Abgeschlossen
S2S-AFW-SP-001	Environmental Specification	SP	Abgeschlossen
500PT00000.00	MLT-LS Product Tree	PT	Abgeschlossen
S2S-AFW-SP-002	Interface Requirements	SP	Abgeschlossen
S2S-AFW-SP-003	Coordinate Systems Document	SP	Erstausgabe
500RD00001 (S2S-VLC-SP-004, S2S-VLC-SP-005)	MLT-LS Integrated Requirements Document (Technical Specs)	SP	Abgeschlossen (Anm. 1)
500PL00003 (S2S-AFW-PL-003)	Manufacturing, Integration, Integration, and Test Plan	PL	Abgeschlossen
S2S-AFW-PL-002	Design, Development, & Verification Plan	PL	Erstausgabe
500ICD00001 (S2S-AFW-ICD-001)	Interface Control Document	ICD	Abgeschlossen
VLC Program File	Project Time Plan	SCH	Abgeschlossen
VLC PPT Slides	Thermal Analysis Report (COMSOL)	RPT	Abgeschlossen
AFW PPT Slides	Thermal Analysis Report (ESATAN)	RPT	Abgeschlossen
CLC PPT Slides	New Space System Development Report	RPT	Abgeschlossen
S2S-AFW-RP-003	2. Zwischenbericht (Interim Report)	RP	Abgeschlossen

Anm. 1: Die Vorlagen S2S-VLC-SP-004 und S2S-VLC-SP-005 wurden von AFW als Entwurfsvorlagen erstellt und danach von Mynaric um die technischen und funktionalen Anforderungen an ein Produkt erweitert und fertiggestellt, 500RD00001.



## **4.5 Aussichten auf Erreichung der Projektziele**

Das Projekt wurde mit einer Verzögerung von einem Monat gegenüber der Vorhabenbeschreibung am 01.07.2016 begonnen. Das Projekt wurde mit der im Antrag beschriebenen Zielsetzung Zeitplan fortgesetzt und planmäßig am 30.06.2017 beendet.

## **4.6 Relevante Ergebnisse Dritter**

Innerhalb des Projektes sind keine Ergebnisse Dritter bekannt geworden, die für die Durchführung des Vorhabens relevant sind.

## **4.7 Änderung der Zielsetzung**

Es wurde keine Änderung der Zielsetzung vorgenommen.

## **4.8 Fortschreibung des Verwertungsplans**

### **4.8.1 Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte**

Es wurden keine Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte, die vom Zuwendungsempfänger gemacht oder in Anspruch genommen sowie deren standortbezogene Verwertung (Lizenzen u.a.) und erkennbare weitere Verwertungsmöglichkeiten, erzielt.

### **4.8.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende**

Das Team von Mynaric wird das im Rahmen des S2SBroad Projektes entwickelte Material für die weitere Entwicklung der Anforderungen und Designlösungen nutzen. Als Schlussfolgerung aus dem Projekt konnte das Design für das MLT-LS Terminal, sowie die Entwicklungsbemühungen bis zum Erreichen des Milestones Preliminary Design Review (PDR) für das MLT-LS Terminal im Dezember 2017 weiterentwickelt werden. Das MLT-LS Projekt profitierte direkt von den Errungenschaften aus dem S2SBroad Projektes.

Es bieten sich sehr gute wirtschaftliche Erfolgsaussichten, wenn das Terminal über das Fördervorhaben hinaus zu einem Produkt weiterentwickelt wird. Die Projektpartner gehen davon aus, dass ein gemeinsames Produkt zwei bis drei Jahre nach Projektende in den Satellitenmarkt eingeführt werden kann. Mögliche Anwender für das Space-Terminal sind einerseits Betreiber von Kommunikationssatelliten-Konstellationen, wie z.B. SpaceX, OneWeb oder Kaskilo, aber auch von hochauflösenden Erdbeobachtungssatelliten. Die Entwicklung zu einem späteren Produkt werden Mynaric und AFW mit den bereits diskutierten Arbeitspaketverantwortlichkeiten weiterführen und entsprechende Unterbaugruppen entwickeln, herstellen



und zuliefern. Dies wurde in einem Kooperationsvertrag geregelt und zeigt, dass beide Firmen von einem Markterfolg des Produktes ausgehen, da die bereits entwickelten Technologien einen Wettbewerbsvorteil gegenüber den Konkurrenzprodukten darstellen.

Darüber hinaus können auch Teilergebnisse des Vorhabens nach der Projektlaufzeit in die Verwertung überführt werden. AFW sieht Verwertungsmöglichkeiten hinsichtlich der Technologien, die bei der Entwicklung der Elektronik erarbeitet wurden. Diese können ebenfalls in anderen Projekten bzw. Produkten angewendet werden. Während der Zusammenarbeit in diesem Projekt haben AFW und Mynaric die Stärken der jeweils anderen Firma kennen gelernt. Damit können die Felder der Zusammenarbeit bei der weiteren Entwicklung des Laserterminals abgestimmt werden.

#### **4.8.3 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende**

Die technischen Aspekte der Laserkommunikation hat Mynaric in den letzten Jahren gelöst und in der Stratosphäre in Inter-Plattformverbindungen und für Luft-Bodenverbindungen mit bis zu 10 Gbps demonstriert. In diesem Projekt wurden die Grundlagen für ein kostengünstiges Terminal für den Weltraum, dass gleichzeitig den strengen Anforderungen (Qualität, Lebensdauer, Zuverlässigkeit) entspricht, entwickelt. Beide Projektpartner konnten ihr bisheriges technisches Knowhow im Bereich der Laserkommunikationssysteme für Kleinsatelliten im LEO erheblich ausbauen sowie deren Alleinstellung in diesem Bereich erheblich steigern.

#### **4.8.4 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit**

Über dieses Projekt hinaus zeichnen sich bereits heute mögliche wissenschaftliche Anschlussprojekte in den nächsten Jahren ab. Es wurden bereits intensive Gespräche mit potentiellen Kunden im Bereich Mikro- und Kleinsatelliten geführt, welche ebenfalls einen zunehmenden Bedarf für breitbandige Datenübertragung sehen. Diese sind einerseits Betreiber von Kommunikations-Satellitenkonstellationen (z.B. SpaceX, OneWeb, Kaskilo) aber auch von hochauflösenden Erdbeobachtungssatelliten. Die starke Regulierung der klassischen HF-Frequenzen führt zu einer starken Einschränkung der verfügbaren Bandbreiten. Hier stellt die Laserkommunikation einen Ansatz dar, hohe Datenraten mit einer nicht regulierten Nutzungsumgebung für Kleinsatelliten und insbesondere Kleinsatellitenkonstellationen zu nutzen. Die Kosten für Kommunikationslösungen sind dabei zentral für die Tragfähigkeit der Geschäftsmodelle der Satellitenbetreiber.



Als Kunden werden sich nicht nur Leuchtturm-Initiativen mit großen Satellitenkonstellationen anbieten, sondern auch die Hersteller/Betreiber einer stetig steigenden Anzahl von Kleinsatelliten einerseits aus den klassischen Weltraumnationen aber auch zunehmend aus asiatischen Ländern wie Indien, China, Indonesien, etc. Kleinsatellitenprojekte sind auf einen Niedrigkostenansatz mit innovativen Ideen angewiesen und setzen umfangreich auf kostengünstige COTS Komponenten, die durch zusätzliche Maßnahmen für die Raumfahrt qualifiziert werden. AFW als einer der deutschen Kleinsystemintegratoren verfügt über mehr als 20 Jahre Erfahrung im Bau kostengünstiger Komponenten und Subsysteme für Satelliten und interplanetarischer Sonden sowie kompletter Satellitenplattformen.

Da der Bedarf an kleinen, leichten weltraumqualifizierten Laserkommunikationssystemen in der Zukunft steigen wird, wurde mit dem Projekt S2SBroad ein erster Schritt gemacht, um die technologisch notwendigen Entwicklungen voranzutreiben. Die Aktivitäten, um ein direkt einsetzbares Terminal zu erhalten, werden außerhalb des Förderprojektes durchgeführt. Es wurden dazu bereits potentielle Entwicklungsaufgaben diskutiert. Es werden mittel- bis langfristig attraktive Bedingungen für ein nachhaltiges Wachstum bei beiden Firmen erwartet. AFW wird sich mit der Entwicklung und Lieferung von Terminal-Baugruppen an der erfolgreichen Weiterentwicklung des Projektes beteiligen. Dadurch können zusätzliche Arbeitsplätze in Deutschland geschaffen werden.

**Ende des Dokument**

