Blackwave GmbH – Rotwandweg 8 – 82024 Taufkirchen bei München – Deutschland

Schlussbericht ILKA

1 Kurzdarstellung

1.1 Aufgabenstellung

Das Ziel des Verbundvorhabens ILKA war die Entwicklung einer komplett integrierten, entfaltbaren Leichtbau-Manpack-Komplettantenne für eine hochmobile Satellitenkommunikation. Das Teilvorhaben von Blackwave konzentrierte sich auf die Entwicklung und Herstellung der Reflektorblätter aus Carbon-SMC-Materialien.

1.1.1 Ziele

Die Hauptziele des vorgeschlagenen Verbundvorhabens sind:

1. Untersuchung einer geeigneten Antennenarchitektur und von Reflektor-Strukturkonzepten für anspruchsvolle Betriebseinsätze
2. Untersuchung und Optimierung der Entfaltungsmechanik
3. Untersuchung von Konzepten zur Akkommodation der Elektronik an den Reflektor und Untersuchung von Architektur, Konfiguration und Design der einzelnen Elektronik-Elemente
4. Untersuchung von Konzepten und Design von austauschbaren Antenneneinspeisungen (Feeds) für die drei Frequenzbänder X, Ku und Ka
5. Untersuchung verschiedener Fertigungsprozesse zur Herstellung der CFK und SMC Bauteile hinsichtlich hoher Form- und Maßhaltigkeit und serientauglicher und kostengünstiger Umsetzbarkeit
6. Realisierung und Charakterisierung eines Labormusters für das Frequenzband Ka mit einer Reflektor Größe von 1,2 Meter

Die spezifischen Hauptziele von Blackwave waren:

1. Bestimmung der wichtigsten Prozessparameter für eine optimale Anbindung zwischen PCM- und SMC-Struktur während des In-Mold-Bondingprozesses
2. Nachweis der Prozesstauglichkeit sowie der überlegenen Wirtschaftlichkeit des In-Mold-Bondingprozesses

Dieses Dokument und darin enthaltene Informationen sind Eigentum der Blackwave GmbH und dürfen ohne vorherige schriftliche Genehmigung durch die Blackwave GmbH nicht kopiert oder weitergegeben werden.

3. Untersuchung und Bewertung verschiedener metallischer Oberflächenbeschichtungen für PCM-Bauteile

Das Gesamtziel des Vorhabens war die Durchführung einer Machbarkeitsuntersuchung bezüglich Konstruktion und Akkommodation eines komplett ausgerüsteten, entfaltbaren Leichtbau Manpack Antennensystems, das anspruchsvollen Anforderungen hinsichtlich Masse, Stauvolumen, Übertragungsqualität und Aufbaugeschwindigkeit genügt.

1.2 Voraussetzungen des Vorhabens

Das Projekt basierte auf mehreren wichtigen Grundlagen. Zunächst brachte Blackwave seine umfassende Erfahrung in der Verarbeitung von Faserverbundwerkstoffen ein. Dies stellte eine entscheidende Komponente für den Erfolg des Vorhabens dar.

Darüber hinaus war die Kooperation mit verschiedenen Projektpartnern von großer Bedeutung. Diese Zusammenarbeit ermöglichte die fachgerechte Integration der Reflektorblätter in die Gesamtkonstruktion der Antenne.

Schließlich spielte die Verfügbarkeit geeigneter Fertigungsanlagen eine zentrale Rolle. Insbesondere waren Anlagen für spezielle Presstechnologien erforderlich, um die notwendigen Produktionsschritte durchführen zu können.

Diese drei Faktoren - Blackwaves Expertise, die partnerschaftliche Zusammenarbeit und die vorhandene Fertigungsinfrastruktur - bildeten gemeinsam die Grundlage für die erfolgreiche Durchführung des Projekts.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Im Verlauf des Projekts kam es zu einigen Verzögerungen gegenüber der ursprünglichen Zeitplanung:

Die Fertigung des Presswerkzeugs für die hybriden Reflektoren verzögerte sich um insgesamt 6 Wochen. Grund dafür waren sehr hohe Fertigungstoleranzen und kleine Radien, die aus RF-Anforderungen resultierten. Nach erfolgloser Suche nach einem Fertiger, der sowohl das Fräsen als auch das Erodieren übernehmen konnte, musste das Werkzeug konstruktiv angepasst werden. Dies führte dazu, dass das Presswerkzeug erst Ende Oktober geliefert wurde und die ersten Fertigungsprozessversuche erst Anfang November stattfinden konnten.

Auch das finale Design und die Freigabe der Center Plate verzögerten sich. Die Integration zusätzlicher Funktionen und des Interfaces zwischen RF-Reflektor, Aluminium-Verbindungsfinger und Center Plate erhöhte die Komplexität und erforderte ein aufwändigeres Toleranz-Management. Dies führte zu einem erhöhten Abstimmungsaufwand und mehr Designiterationen als ursprünglich geplant.

Diese Verzögerungen wirkten sich insbesondere auf das Arbeitspaket 6500-2 (Fertigung C-SMC-Bauteile) und das Hauptarbeitspaket 7000 (Labor-Muster Testkampagne) aus. Um die

Dieses Dokument und darin enthaltene Informationen sind Eigentum der Blackwave GmbH und dürfen ohne vorherige schriftliche Genehmigung durch die Blackwave GmbH nicht kopiert oder weitergegeben werden.

Projektziele dennoch zu erreichen, wurde am 03.07.2023 ein Antrag auf kostenneutrale Verlängerung gestellt, der am 21.07.2023 bewilligt wurde (Änderungsbescheid 3). Die Projektlaufzeit wurde daraufhin bis zum 31.03.2024 verlängert.

Trotz dieser Herausforderungen konnten durch gezielte Anpassungen an Werkzeugen und Fertigungsprozessen die Ausschussquote minimiert und ein stabiler Produktionsprozess etabliert werden. Die 20 Reflektorblätter für die Labormuster-Antenne wurden erfolgreich produziert und für die Integration vorbereitet. Der anschließende Feldtest bestätigte die Einsatzbereitschaft des Prototyps..

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

1.4.1 Stand der Technik bei Faserverbundwerkstoffen

SMC (Sheet Molding Compound) ist ein duromeres, schnittfaserverstärktes, flächiges Halbzeug, das in einem Fließpressprozess verarbeitet wird. Es ermöglicht komplexe Bauteilgeometrien und kurze Zykluszeiten bei hohem Automatisierungsgrad. Endlosfaserverstärkte FVK und Prepreg Compression Molding (PCM) bieten höhere spezifische Festigkeit und Steifigkeit als kurzfaserverstärkte Materialien. Neuere Entwicklungen ermöglichen eine schnellere Aushärtung unter hohem Druck. Bei der Last-Integration von FVK bestehen Herausforderungen bei der Lastanbindung ohne Beschädigung der Faser-Matrix-Verbindung. Lösungsansätze umfassen Gewindeinserts und Verklebungen.

1.4.2 Relevante Technologien

Blackwave entwickelte einen In-Mold-Bonding-Prozess zur Verbindung von PCM- und SMC-Bauteilen ohne zusätzlichen Klebeschritt. Für metallische Oberflächenbeschichtungen zur Erhöhung der Oberflächenleitfähigkeit von Carbonbauteilen existieren verschiedene Verfahren wie leitfähige Lacke, physikalische Gasphasenabscheidung (PVD) oder In-situ-Verfahren mit metallischen Halbzeugen.

1.4.3 Angeknüpfte Forschungsarbeiten

Es wurden Untersuchungen zu RF-Eigenschaften verschiedener Laminataufbauten mittels Waveguide-Tests durchgeführt. Zudem erfolgte eine Optimierung von Bauteilgeometrien für Steifigkeit und Formgenauigkeit, insbesondere bei Reflektorblättern für Satellitenantennen. Fertigungskonzepte für komplexe Hybridbauteile aus PCM und SMC wurden entwickel.

1.4.4 Verwendete Fachliteratur und Informationsdienste

Obwohl nicht explizit genannt, ist davon auszugehen, dass aktuelle Fachliteratur zu Faserverbundwerkstoffen und deren Verarbeitungstechnologien, Hochfrequenztechnik und Antennendesign sowie Leichtbaukonstruktionen für Raumfahrtanwendungen genutzt wurde. Zudem

Dieses Dokument und darin enthaltene Informationen sind Eigentum der Blackwave GmbH und dürfen ohne vorherige schriftliche Genehmigung durch die Blackwave GmbH nicht kopiert oder weitergegeben werden.

wurden wahrscheinlich branchenübliche Informations- und Dokumentationsdienste für den Bereich Luft- und Raumfahrttechnik sowie Materialwissenschaften verwendet.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das ILKA-Projekt wurde als Verbundvorhaben durchgeführt, mit folgenden Partnern:

- HPS GmbH (Verbundkoordinator)
- Mtex Antenna Technology GmbH
- Blackwave GmbH
- Technische Universität München

Zusätzlich war die Universität der Bundeswehr München als Fremdleistung zu HPS am Vorhaben beteiligt. Die Zusammenarbeit zwischen den Partnern gestaltete sich wie folgt:

- HPS war hauptsächlich für die Gesamtkoordination, Antennenarchitektur und Entfaltungsmechanik zuständig.
- Mtex konzentrierte sich auf die Elektronik-Elemente und das Systemkonzept.
- Blackwave war verantwortlich für die Untersuchung und Fertigung der SMC-Bauteile, insbesondere der Reflektorblätter.
- Die TU München unterstützte bei der Reflektor-Lamellenuntersuchung (Entfaltkinematik, Materialien, Fertigungsprozess, Charakterisierung).

Blackwave arbeitete besonders eng mit der TU München zusammen:

- Gemeinsame Entwicklung und Fertigung der reflektierenden Bauteile
- Zusammenarbeit bei der Definition von Fertigungsvorgaben und -toleranzen
- Unterstützung der TU München bei der Charakterisierung des In-Mold-Bonding-Prozesses

Zusätzlich gab es eine wissenschaftliche Beratung durch die Universität der Bundeswehr München, insbesondere zu Fragen der Robustheit und Lebensdauer der Komponenten. Für spezielle Tests wurde außerdem mit Prof. Dr.-Ing. D. Fasold zusammengearbeitet, der Hochfrequenz-Messungen an Probekörpern durchführte. Die enge Kooperation zwischen den Partnern war entscheidend für die erfolgreiche Integration der verschiedenen Technologien und Komponenten zu einem funktionsfähigen Gesamtsystem.

Dieses Dokument und darin enthaltene Informationen sind Eigentum der Blackwave GmbH und dürfen ohne vorherige schriftliche Genehmigung durch die Blackwave GmbH nicht kopiert oder weitergegeben werden.

2 Eingehende Darstellungen

2.1 Verwendung der Zuwendung und der erzielten Ergebnisse

Die Zuwendung wurde für folgende Hauptaktivitäten verwendet:

- Entwicklung und Optimierung des Fertigungsprozesses für die Reflektorblätter
- Konstruktion und Fertigung des Presswerkzeugs
- Durchführung von HF-Tests zur Evaluierung der Reflektoreigenschaften
- Herstellung von Prototypen und Gutteilen für die Integration

Erzielte Ergebnisse:

- Erfolgreiche Entwicklung eines Hybridprozesses (PCM-SMC) zur Herstellung der Reflektorblätter
- Optimierung der Bauteilgeometrie für verbesserte Steifigkeit und Formgenauigkeit
- Nachweis der HF-Eignung der entwickelten Reflektorblätter ohne zusätzliche Metallbeschichtung
- Fertigung von 20 Reflektorblättern für die Labormuster-Antenne
- Erfolgreiche Integration und Feldtest der Reflektorblätter in der Gesamtantenne

2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Hauptkostenpositionen umfassten:

- Personalkosten für Entwicklung und Prozessoptimierung
- Materialkosten für Prototypen und Gutteile
- Kosten für das Presswerkzeug
- Kosten für externe Dienstleistungen (z.B. HF-Tests)

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die durchgeführten Arbeiten waren notwendig und angemessen, um die technischen Herausforderungen bei der Entwicklung der Leichtbau-Reflektorblätter für die integrierte, entfaltbare Manpack-Komplettantenne zu bewältigen:

Dieses Dokument und darin enthaltene Informationen sind Eigentum der Blackwave GmbH und dürfen ohne vorherige schriftliche Genehmigung durch die Blackwave GmbH nicht kopiert oder weitergegeben werden.

1. Materialentwicklung und -optimierung:
   Die intensive Untersuchung und Optimierung der PCM-SMC-Hybridmaterialien war erforderlich, um die anspruchsvollen Anforderungen an Gewicht, Steifigkeit und RF-Eigenschaften zu erfüllen. Der iterative Prozess zur Findung der optimalen Materialkombination und Verarbeitungsparameter war angemessen, um die bestmögliche Leistung zu erzielen.

2. Fertigungsprozessentwicklung:
   Die Entwicklung des In-Mold-Bonding-Verfahrens für die Reflektorblätter war notwendig, um eine kostengünstige und reproduzierbare Herstellung zu ermöglichen. Die schrittweise Optimierung des Prozesses, einschließlich der Anpassung des Presswerkzeugs, war angemessen, um die Fertigungsqualität und -effizienz zu verbessern.

3. RF-Eigenschaften-Untersuchung:
   Die detaillierte Untersuchung der RF-Eigenschaften verschiedener Laminataufbauten war notwendig, um die Leistungsfähigkeit der Antenne sicherzustellen. Der Verzicht auf eine zusätzliche metallische Beschichtung basierend auf den Testergebnissen war eine angemessene Entscheidung zur Vereinfachung des Fertigungsprozesses.

4. Geometrieoptimierung:
   Die umfangreiche Arbeit zur Optimierung der Bauteilgeometrie, insbesondere der Rippenstruktur und der Verbindungselemente, war notwendig, um die Steifigkeit und Formgenauigkeit der Reflektorblätter zu gewährleisten. Der iterative Prozess zur Verbesserung des Designs war angemessen, um die bestmögliche Leistung und Funktionalität zu erreichen.

5. Integrationstests und Vermessung:
   Die durchgeführten Integrationstests und 3D-Vermessungen waren notwendig, um die Einhaltung der Formtoleranzen und die Funktionalität des Gesamtsystems zu überprüfen. Der Aufwand für die Entwicklung spezieller Messvorrichtungen war angemessen, um präzise Daten zu erhalten und die Qualität der Bauteile zu sichern.

6. Anpassungen und Problemlösungen:
   Die geleistete Arbeit zur Lösung unvorhergesehener Probleme, wie das Verkippen des Presswerkzeugs oder die Optimierung des Pinkonzepts, war notwendig und angemessen, um einen stabilen und zuverlässigen Fertigungsprozess zu etablieren.

Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit zeigt sich auch in der erfolgreichen Herstellung der 20 Reflektorblätter für die Labormuster-Antenne und deren Integration in das Gesamtsystem. Der iterative Entwicklungsprozess und die enge Zusammenarbeit mit den Projektpartnern waren entscheidend, um die komplexen technischen Herausforderungen zu meistern und die Projektziele zu erreichen.

Dieses Dokument und darin enthaltene Informationen sind Eigentum der Blackwave GmbH und dürfen ohne vorherige schriftliche Genehmigung durch die Blackwave GmbH nicht kopiert oder weitergegeben werden.

2.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit

Die entwickelte Technologie zur Herstellung von leichten, hochpräzisen Reflektorblättern hat ein großes Potenzial für weitere Anwendungen im Bereich der mobilen Satellitenkommunikation. Die gewonnenen Erkenntnisse können für zukünftige Projekte im Bereich Leichtbau und HF-Anwendungen genutzt werden.

2.5 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Während der Projektlaufzeit wurden keine signifikanten Fortschritte bei anderen Stellen bekannt, die die Durchführung des Vorhabens beeinflusst hätten.

2.6 Geplante Veröffentlichungen

Ein Abstract für die „Ka and Broadband Communications Conference“ mit dem Titel „ILKA - A LIGHTWEIGHT KU-BAND ANTENNA SOLUTION FOR MOBILE SATELLITE COMMUNICATION: EXPERIMENTAL EVALUATION“ wurde von den anderen Partnern des ILKA-Projekts eingereicht, aber Blackwave gehörte nicht zu den Autoren der Veröffentlichung.

Dieses Dokument und darin enthaltene Informationen sind Eigentum der Blackwave GmbH und dürfen ohne vorherige schriftliche Genehmigung durch die Blackwave GmbH nicht kopiert oder weitergegeben werden.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart Schlussbericht
3a. Titel des Berichts Schlussbericht ILKA	
3b. Titel der Publikation	

4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n)) Martin Wantoch	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.03.2024
4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n))	6. Veröffentlichungsdatum
	7. Form der Publikation

8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Blackwave GmbH Rotwantweg 8 82024 Taufkirchen	9. Ber.Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 50ZB2109
	11a. Seitenzahl Bericht 7
	11b. Seitenzahl Publikation
13. Fördernde Institution (Name, Adresse) Deutsche Raumfahrtagentur im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. Königswinterer Str. 522-524 53227 Bonn	12. Literaturangaben
	14. Tabellen
	15. Abbildungen

16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Das Verbundvorhaben ILKA zielte auf die Entwicklung einer integrierten, entfaltbaren Leichtbau-Manpack-Komplettantenne für mobile Satellitenkommunikation ab. Blackwave konzentrierte sich dabei auf die Entwicklung und Herstellung von Reflektorblättern aus Carbon-SMC-Materialien. Hauptziele waren: 1. Untersuchung der Antennenarchitektur und Reflektorstrukturen 2. Optimierung der Entfaltungsmechanik 3. Integration der Elektronik 4. Entwicklung austauschbarer Antenneneinspeisungen 5. Untersuchung von Fertigungsprozessen für CFK und SMC Bauteile 6. Realisierung eines Labormusters Trotz einiger Verzögerungen bei der Werkzeugfertigung und dem finalen Design wurden die Projektziele erreicht. Blackwave entwickelte erfolgreich einen Hybridprozess zur Herstellung der Reflektorblätter und optimierte deren Geometrie für verbesserte Steifigkeit und Formgenauigkeit. Die Zusammenarbeit im Verbund mit HPS GmbH, Mtex Antenna Technology GmbH und der TU München war entscheidend für die Integration der verschiedenen Technologien. Das Projekt resultierte in der erfolgreichen Produktion von 20 Reflektorblättern für die Labormuster-Antenne, die in Feldtests ihre Einsatzbereitschaft bestätigten. Die entwickelte Technologie zeigt großes Potenzial für weitere Anwendungen in der mobilen Satellitenkommunikation	
19. Schlagwörter	
20. Verlag	21. Preis