

Schlussbericht

IGEL

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Vorhabentitel:	Innovatives Gesamtsystem leichter Hubschrauber
Förderkennzeichen:	20C2101 (LuFo VI-2)
Laufzeit des Vorhabens:	01.09.2021 bis 28.02.2025
Berichtszeitraum:	01.09.2021 bis 28.02.2025

Der Inhalt dieser Unterlage ist geistiges Eigentum von AIRBUS HELICOPTERS DEUTSCHLAND GmbH. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWE) gefördert. Außerhalb der Regelung des Zuwendungsbescheides ist eine Weitergabe an Dritte, sowie Vervielfältigung dieser Unterlage, Verwertung und Mitteilung des Inhaltes an Dritte nicht gestattet, soweit nicht vorher schriftlich von AIRBUS HELICOPTERS DEUTSCHLAND GmbH zugestanden. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmustereintragung vorbehalten.

The content of this document is the intellectual property of AIRBUS HELICOPTERS DEUTSCHLAND GmbH. The responsibility for the content of this publication rests with the author.

The project which forms the basis for this report is endorsed and funded by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWE). Apart from the user rights contained in the notification concerning the allocation of funds, copying of this document to third parties and the use of the contents thereof, are forbidden without prior written consent by AIRBUS HELICOPTERS DEUTSCHLAND GmbH. Offenders are liable to the payment of damages. All rights are reserved in the event of the grant of a patent or the registration of a utility model or design.

Inhalt

I.	Kurze Darstellung zu	4
I.1	Aufgabenstellung	4
I.2	Voraussetzung der Durchführung	4
I.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	5
I.4	Wissenschaftlichem und technischen Stand	6
I.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	7
II.	Eingehende Darstellung	8
II.1	Des erzielten Ergebnisses	8
II.1.1	HAP 1 - Demonstrator A.....	8
II.1.2	HAP 2 - Demonstrator B.....	11
II.1.3	Fazit.....	13
II.2	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	13
II.3	Der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	14
II.4	Des voraussichtlichen Nutzens	14
II.5	Des bekannt gewordenen Fortschritts.....	14
II.6	Veröffentlichungen	14

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projektstruktur	5
Abbildung 2: Arbeitspakete.....	5

Abkürzungsverzeichnis

AHD	AIRBUS HELICOPTERS Deutschland GmbH
ATA	Air Transport Association
CNE	Change Notice for Experimental
CVE	Compliance Verification Engineer
FCN	Flight Clearance Note
FT	Flugtest
FTI	Flight Test Instrumentation
GT	Ground Test
HAP	Hauptarbeitspaket
IGEL	Innovatives GESamtsystem Leichter Hubschrauber
PtF	Permit to Fly
TRL	Technology Readiness Level

I. Kurze Darstellung zu

I.1 Aufgabenstellung

Das Ziel von IGEL ist die Technologiereifmachung für einen neuen zweimotorigen Leichthubschrauber. In IGEL werden Technologiebausteine auf Gesamtsystemebene zusammengeführt, welche in vergangenen oder laufenden Forschungsprojekten bereits erarbeitet wurden bzw. werden. Dazu wird ein zweistufiger Ansatz mit zwei Demonstratoren verfolgt.

Zuerst sollen die kritischen struktur- und aeromechanischen Risiken im Flugversuch abgesichert werden. Das Ziel ist es, eine stabile aerodynamische Konfiguration sicherzustellen. Die Envelope für die Flugversuche soll dann Schritt für Schritt geöffnet werden, bis das komplette Spektrum getestet werden kann. Die Envelope (Flugbereich) legt die sicheren Grenzen für Fluggeschwindigkeit, Flughöhe und den Lastvielfachen fest, aber auch für andere Faktoren wie den Anstellwinkel und die strukturellen Belastungsgrenzen. Der Flugbereich zeigt im Grunde den Konditionsbereich auf, in dem ein Flugzeug sicher betrieben werden kann.

In dem zweiten Schritt liegt der Fokus auf einer produktnahen Validierung. Dazu werden Architekturbereiche analysiert, welche aufgrund weiter entwickelter Anforderungen heute nicht mehr den aktuellen Zulassungsvorschriften entsprechen. Somit entsteht der zweite Demonstrator aus einer stabilen aerodynamischen Konfiguration aus Phase Eins und einer weiterentwickelten Architektur. Das finale Ziel der zweiten Phase ist der Erstflug dieses Demonstrators.

I.2 Voraussetzung der Durchführung

Es handelt sich um eine experimentelle Entwicklung zur Nutzung von Kenntnissen, die in Form von Kundenfeedback, internen Erfahrungen und Ergebnissen verschiedener Forschungsaktivitäten vorliegen. Die heute auf dem Markt verfügbaren Hubschrauber wurden in ihrer Basiskonfiguration größtenteils vor einigen Jahren oder Jahrzehnten zugelassen. In der Zwischenzeit haben sich die Bedarfe der Kunden verändert. Auch der Wunsch, die neuesten verfügbaren Technologien zur Erhöhung der Flugsicherheit zu nutzen, steht bei allen Beteiligten an oberster Stelle. Dementsprechend werden die Sicherheitsanforderungen seitens der Behörden ständig verfeinert.

Das Projekt IGEL beinhaltet Architekturkonzepte, Planungen und Dokumentationen, die die genannten Erwartungen in ein verbessertes Produkt übersetzen und schließlich in flugfähige Demonstratoren münden.

I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt wurde mit zwei Hauptarbeitspaketen geplant, die jeweils einen physischen, flugfähigen Demonstrator beinhalten. Zeitlich überlappten sich beide Pakete, so dass die Erkenntnisse aus dem ersten Demonstrator Schritt für Schritt auf den zweiten übertragen werden konnten. Die Erstflüge waren mit einem Abstand von etwa eineinhalb Jahren vorgesehen.

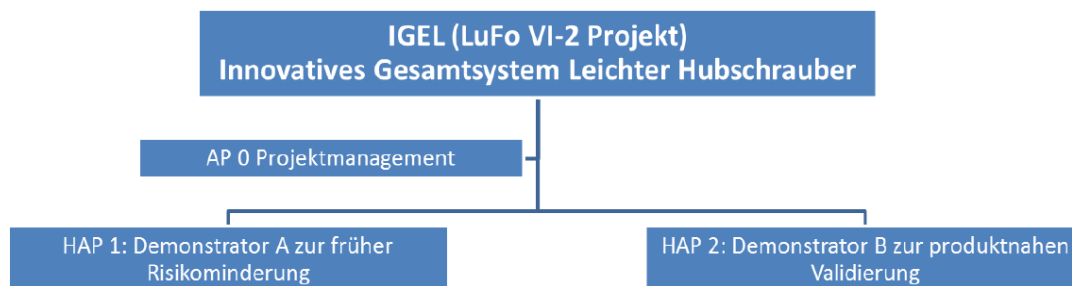


Abbildung 1: Projektstruktur

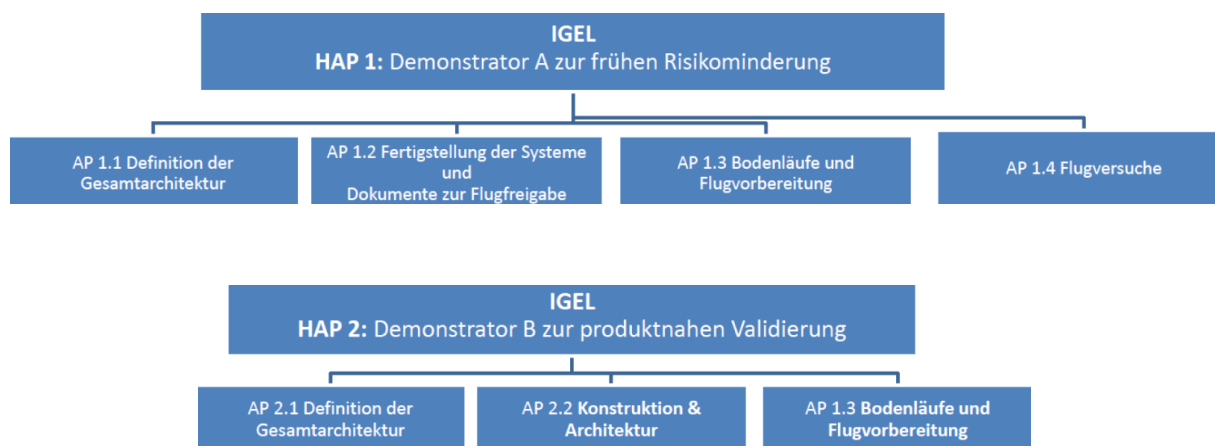


Abbildung 2: Arbeitspakete

Aufgrund der Ergebnisse aus der Delta Analyse zwischen Demonstrator A und B, mussten umfangreichere Modifikationen durchgeführt werden, die eine Auswirkung auf die Projektlaufzeit hatten. Des Weiteren haben Lieferkettenprobleme (z.B. Getriebe) den Demonstrator A deutlich verzögert. Somit konnte der Übertrag von Ergebnissen auf Demonstrator B nicht wie im Antrag geplant durchgeführt werden.

AHD reagierte auf diesen Verzug mit einem Antrag auf eine kostenneutrale Laufzeitverlängerung um 6 Monate (ursprüngliches Projektende 31.08.2024; neues Projektende 28.02.2025). Die kostenneutrale Laufzeitverlängerung führt zu keinen Veränderungen an den ursprünglichen Zielen des Projekts. Der Verwertungsplan inklusive dem Zeithorizont der Verwertung bleibt gegenüber dem Antrag unverändert. Die Änderung wurde durch den Änderungsbescheid Nr. 5 vom 12.03.2024 genehmigt.

Der Meilenstein „MS2.3.2 Erstflug Technologieträger B“, der das Ende des Projekts markiert, wurde nach der Projektlaufzeit am 01.08.2025 erfolgreich durchgeführt.

I.4 Wissenschaftlichem und technischen Stand

Leichte zweimotorige Hubschrauber stellen heute einen entscheidenden Sektor in der Luftfahrt dar und sind maßgeblich für Missionen, die ein hohes Maß an Sicherheit und Redundanz erfordern. Ihr Design und ihre Leistung sind das Ergebnis jahrzehntelanger wissenschaftlicher Forschung und technischer Innovationen.

Antriebssysteme und Flugsteuerung: Moderne leichte zweimotorige Hubschrauber werden primär von Wellenturbinen (Turboshaft-Triebwerken) angetrieben, die sich durch ein optimales Leistungs-Gewichts-Verhältnis auszeichnen. Die Triebwerksredundanz ist der zentrale Sicherheitsfaktor dieser Klasse; der Ausfall eines Triebwerks muss eine sichere Weiterführung des Fluges (mit geringeren Leistungsreserven) oder eine kontrollierte Landung ermöglichen (Single-Engine-Inoperative-Performance, kurz SEI). Diese Fähigkeit wird durch eine komplexe Regelungstechnik gewährleistet, die eine automatische Lastübernahme durch das verbleibende Triebwerk sicherstellt. Aktuelle Entwicklungen konzentrieren sich auf eine weitere Effizienzsteigerung der Triebwerke durch verbesserte Materialwissenschaften (z. B. einkristalline Turbinenschaufeln) und optimierte Brennkammerdesigns, die den spezifischen Kraftstoffverbrauch (TSFC) senken.

Die Flugsteuerung (Flight Control System, FCS) hat sich von rein mechanischen Systemen zu elektrohydraulischen oder voll digitalisierten Fly-by-Wire-Systemen weiterentwickelt. Letztere ermöglichen eine präzisere und stabilere Flugführung, entlasten den Piloten und integrieren fortgeschrittene Autopilotensysteme. Bei kritischen Flugphasen, wie dem Schwebeflug oder bei Landeanflügen, werden diese Systeme durch künstliche Stabilisierungsmechanismen (Stability Augmentation Systems, SAS) ergänzt.

Rotorsysteme und Aerodynamik: Die Aerodynamik der Rotorblätter ist ein Schlüsselbereich für die Leistungsverbesserung. Moderne Hubschrauber verwenden Rotorblätter mit optimierten aerodynamischen Profilen (Airfoils), die den Auftrieb bei geringerem Widerstand maximieren. Techniken wie die passive Lärmreduzierung durch spezielle Blattspitzenformen (z. B. BERP-Spitzen) sind ebenfalls weit verbreitet. Die Verwendung von Verbundwerkstoffen (Kohlefaser-Epoxidharz, Glasfaser) für die Rotorblätter ist heute Standard. Diese Materialien reduzieren nicht nur das Gewicht, sondern erhöhen auch die Lebensdauer und die Beständigkeit gegen Materialermüdung und Umwelteinflüsse.

Die Mechanik der Rotorsysteme hat sich ebenfalls weiterentwickelt. Sogenannte "hingeless" oder "bearingless" Rotorköpfe, die traditionelle Gelenke durch die Biege- und Torsionselastizität von Faserverbundwerkstoffen ersetzen, sind Stand der Technik. Sie reduzieren die Anzahl der beweglichen Teile, vereinfachen die Wartung und senken das Gewicht, während sie gleichzeitig eine präzise Steuerung ermöglichen.

Avionik und Missionsausrüstung: Die Avionik moderner leichter Hubschrauber ist hochgradig integriert. Glascockpits mit Multifunktionsdisplays (MFDs) haben analoge Anzeigen weitgehend verdrängt. Digitale Bordsysteme umfassen heute:

- Ein voll integriertes Integrated Modular Avionics (IMA), das mehrere Funktionen wie Flugdatenverarbeitung, Navigation und Triebwerksüberwachung auf einer gemeinsamen Plattform bündelt.
- GPS-gestützte Navigationssysteme (GNSS) mit integrierter Terrain Awareness and Warning System (TAWS) Funktionalität.
- Synthetic Vision Systems (SVS) und Enhanced Vision Systems (EVS), die die Situationswahrnehmung bei schlechten Sichtverhältnissen signifikant verbessern.
- Moderne Kommunikationssuiten, die verschlüsselte Sprach- und Datenkommunikation ermöglichen.

Für spezielle Missionsprofile, wie die Luftrettung (HEMS), sind Hubschrauber mit fortschrittlichen Winden, externen Lastenaufhängungen und spezialisierten medizinischen Konfigurationen ausgestattet. Der modulare Aufbau der Kabinen ermöglicht eine schnelle Konfiguration für verschiedene Einsatzszenarien, von Passagiertransport bis hin zu Rettungseinsätzen.

Zukünftige Entwicklungen: Die zukünftige Forschung konzentriert sich auf die Integration von Elektroantrieben (Hybrid-Elektrische Hubschrauber), die weitere Lärmreduktion, die Entwicklung autonomer Flugsysteme (UAV-Technologie) und die Nutzung von Big Data zur prädiktiven Wartung (Condition-Based Maintenance). Diese Innovationen zielen darauf ab, die Betriebskosten zu senken, die Sicherheit weiter zu erhöhen und die Umweltauswirkungen zu minimieren.

I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Projekt IGEL wurde ohne Partner durchgeführt. Eine Zusammenarbeit mit anderen Stellen bestand nicht.

II. Eingehende Darstellung

II.1 Des erzielten Ergebnisses

II.1.1 HAP 1 - Demonstrator A

II.1.1.1 Definition der Gesamtarchitektur

Die Architektur des Demonstrators A ist auf die Anforderungen der anvisierten Flugversuche ausgerichtet, um ein "Aeromechanical Freeze" zu erreichen und Entwicklungsrisiken für Demonstrator B zu mindern. Der Demonstrator A integrierte die in früheren Projekten entwickelte Hubschrauberstruktur mit verschiedenen Systemen, die ihn schließlich flugfähig machen. Ein Schwerpunkt lag auf der technischen Reifmachung der Komponenten des dynamischen Systems, bestehend aus dem Hauptgetriebe, dem Heckgetriebe, der dazwischenliegenden Heckrotorwelle und des Hauptrotors, sowie verschiedenen angrenzenden Bauteilen.

Für die Ölkühlung wurde eine Lösung mit mehreren, verteilten Auslässen gewählt, um die Vermischung von heißer Abluft mit der einströmenden Luft an den Triebwerkseinlässen zu minimieren, was einen Fortschritt gegenüber bestehenden Lösungen darstellt.

Testspezifikationen wurden erstellt, um die Konstruktionsanforderungen an die Flugtests klar zu definieren. Die Flugtests waren in eine Bodenlaufphase (GT) und mehrere Flugtestphasen (FT) unterteilt. Dazwischen wurden Konfigurationsänderungen vorgesehen, um den Einfluss verschiedener Ausbaustufen einiger Systeme zu untersuchen.

II.1.1.2 Fertigstellung der Systeme und Dokumente zur Flugfreigabe

Die Konstruktion des dynamischen Systems wurde bereits im ersten Projektjahr weitgehend abgeschlossen, und die Zeichnungsableitung wurde gestartet, um die Fertigung industriell anspruchsvoller Bauteile zu ermöglichen.

Die Unterstützung der Entwicklungsingenieure während der folgenden Bauphase umfasste die Klärung technischer Details und die Optimierung von Bauunterlagen nach Rückmeldungen aus der Fertigung und Montage.

Als erster, wichtiger Meilenstein auf der Systemseite wurde der "Power-On" für alle elektrischen Systeme und Sensoren des Hubschraubers erfolgreich durchgeführt, was den Beginn einer mehrwöchigen Testphase zur Überprüfung aller Funktionen darstellte. Mechanische Schwingungstests wurden ebenfalls erfolgreich durchgeführt, um lokale Eigenfrequenzen zu überprüfen und mögliche Auffälligkeiten zu beseitigen.

Im weiteren Verlauf wurden zahlreiche Systemtests am Boden durchgeführt, um die Qualität und korrekte Funktion des Hubschraubers zu überprüfen. Einer der Schwerpunkte lag auf der Software, die alle elektrisch betriebenen Systeme verbindet, und der damit verbundenen Justierung von Warnungen im Cockpit.

Zusätzlich wurden Tests zur Bestimmung der Eigenfrequenzen des Hubschraubers in Kombination mit verschiedenen Untergründen (Gras und Beton) durchgeführt. Diese Tests dienten als Grundlage für die Flugfreigabedokumente.

Die Aktivitäten zur Flugfreigabe betrafen alle Fachabteilungen, da die Freigabe für jedes ATA-Kapitel separat von den jeweiligen Spezialisten erteilt wird. Zum Beispiel mussten für die Struktur über 20 Nachweise, Testberichte und Sicherheitsbewertungen verfasst werden. Compliance Verification Engineers (CVEs) waren maßgeblich an der Bestätigung der Übereinstimmung der Konstruktion mit den Luftfahrtvorschriften beteiligt. Bedingungen für den Flugversuch, wie zulässige Verwendungsdauern kritischer Bauteile, wurden definiert, um die Sicherheit im Flugbetrieb zu gewährleisten.

Dieses Arbeitspaket wurde mit der Erteilung des offiziellen "Permit to Fly" (PtF) für Demonstrator A erfolgreich abgeschlossen.

II.1.1.3 Bodenläufe und Flugvorbereitung

Im Demonstrator wurde eine Messeinrichtung (Flight Test Instrumentation, FTI) integriert zur Datenerfassung während der Flugversuche. Die Messeinrichtung ist in vier Bereiche unterteilt:

- zentrale Datenerfassung
- Verkabelung
- Sensoren
- Telemetrie

Sie beinhaltete Hunderte von Messstellen für generische Helikopterdaten, Vibrationen, Lasten, Temperaturen, Drücke, Aerodynamik, Akustik, Kameras, Triebwerksüberwachung und das Ölkühlsystem.

Ein bedeutendes Zwischenziel des Projekts konnte zur Mitte der Laufzeit erreicht werden: Es fanden mehrere Bodenläufe statt. Die Entwicklungsteams überwachten dabei die in Echtzeit übertragenen Messdaten, werteten sie aus und gaben Feedback an das Flugtestteam, um kleinere Fehler zu beheben und bereits Ideen für nachfolgende Optimierungsschritte zu sammeln.

Im Anschluss an die Bodenläufe erfolgte der Erstflug des Demonstrators A. Der Flug dauerte etwa 50 Minuten, wobei sich der Hubschrauber vorbildlich verhielt.

II.1.1.4 Flugversuche

Dem Erstflug folgten Flugversuche die das aerodynamische Design validierten und das Vibrationsverhalten sowie die Flugleistungen untersuchten. Außerdem wurde Das Triebwerksverhalten inklusiver der Abstimmung der Regelgesetze zwischen Piloteneingabe, Drehmomentabgabe der Triebwerke und Hauptrotordrehzahl für verschiedene Flugsituationen optimiert.

Die folgenden Absätze fassen die Auswertung der durchgeführten Flugtests zu verschiedenen Themen zusammen.

Zellenstruktur

Anfangs stand das "T-Tail" im Mittelpunkt der Flugversuche. Die Bauweise neigt prinzipiell zu Schwingungen, bietet aber Vorteile bezüglich der Positionierung des Höhenleitwerks und des Zugangs zu den Hecktüren. Die Ergebnisse waren sehr positiv und bestätigten das Design.

Für Untersuchungen zum Landewerk wurden Schräghanglandungen durchgeführt. Hierbei haben nur die vorderen Enden des Landewerks Kontakt mit dem Boden, während der Hubschrauber weiterhin schwebt. Erfahrungen mit anderen Modellen zeigen, dass in dieser Situation Resonanzen bei 3Hz auftreten können. Nach Tests mit verschiedenen Konfigurationen erwies sich das Risiko als unbegründet.

Lokale Effekte der Rotor-Strukturkopplung wurden ebenfalls untersucht. Die resultierenden Erkenntnisse konnten bereits im Design des Demonstrators B berücksichtigt werden.

Dynamisches System

Der Fokus lag zunächst auf der Validierung von Gewichtsoptimierungen. Die Hauptrotorblätter wurden in einer anderen Airbus-Abteilung optimiert und dem IGEL-Projekt zur Flugerprobung übergeben. Die Ergebnisse waren durchweg positiv, und beide Demonstratoren wurden mit den neuen Rotorblättern ausgestattet.

Im Laufe der der Flugtests konnten die Limitierungen nach und nach verschoben werden, man spricht von der Öffnung der Envelope. Flugleistungen wie Höchstgeschwindigkeit und Höhen wurden gesteigert, und dabei Parameter im Haupt- sowie Heckrotorgetriebe detailliert überwacht. Lasten in den Flugsteuerungsbauteilen wurden beobachtet und bewertet. Mit den Daten wurden Lebensdauerberechnungen regelmäßig aktualisiert. Es ergaben sich wertvolle Erkenntnisse für zukünftige Wartungsintervalle.

Aerodynamik

Bei der globalen aerodynamischen Bewertung traten keine Effekte wie Flattern oder Luftresonanzen auf. Das globale Verhalten der Maschine war stabil. Lediglich die Geschwindigkeitsmessung mittels Pitot-System zeigte in bestimmten Situationen Abweichungen vom erwarteten Wert. Das System soll daher auf dem Demonstrator B weiter untersucht werden.

Flüge mit verschiedenen Varianten von Lufteinlässen in der Verkleidung vom Hauptgetriebe und Triebwerken stabilisierten die internen Luft- und Öltemperaturen auf niedrigem Niveau, sodass auch für heiße Umgebungsbedingungen keine Limit Überschreitungen erwartet werden.

II.1.2 HAP 2 - Demonstrator B

II.1.2.1 Definition der Gesamtarchitektur

Wie geplant konnte eine Vielzahl an Technologiebausteinen miteinander kombiniert werden, wodurch das Gesamtkonzept in Summe deutlich an Reife gewann. Die angestrebten Verbesserungen aus dem Förderantrag wurden realisiert:

- Mehr Missionsvielfalt durch eine größere Zelle
- Optimierte Aeromechanik
- Erhöhung der Nutzlast
- Verbesserter Brandschutz
- Vogelschlagsichere Scheibe

II.1.2.2 Konstruktion & Architektur

Die Konstruktion und Architektur von Details des Demonstrators B wurde durchgeführt. Zur Überprüfung des Reifegrads fanden Design Reviews für einzelne Systeme und den Gesamthubschrauber statt.

Auf Basis des Detaildesigns und der Fertigungszeichnungen wurde dann die Flugfreigabe vorbereitet, auf die in den nächsten Abschnitten genauer eingegangen wird.

Vorbereitung der Zelle für Demonstrator B, inkl. Flugfreigabe

Der Schwerpunkt der Tätigkeiten verlagerte sich auf die Dokumentation des Reifegrades der Konstruktion zum Nachweis der Flugsicherheit. Neue Details wie strukturelle Optimierungen wurden hinzugefügt. Mehrere 3D-gedruckte Bauteile aus Titan wurden in den Demonstrator integriert, um Flugtests und eine spätere Zulassung vorzubereiten. Zudem wurden Dokumente in Form von „Change Notices for Experimental“ (CNEs) erstellt, die temporäre Einbauten für Untersuchungen und Tests definieren und die Flexibilität der Konfiguration im Flugversuch erhöhen.

Die Konstruktion der Zelle enthielt im Vergleich zum Demonstrator A mehr Vorkehrungen für mögliche Ausstattungsvarianten. Erkenntnisse aus Demonstrator A zur Erhöhung der Robustheit bei Vogelschlag und Verbesserung des Schwingungsverhaltens wurden ebenfalls eingearbeitet.

Die Flugfreigabe erfolgte letztendlich mit der Unterschrift der systemverantwortlichen Compliance Verification Engineers (CVE) auf den Flight Clearance Notes (FCN). Dieses Dokument fasst die Ergebnisse aller anderen Nachweise zusammen. Es fließen dort die Festigkeitsberichte, die Lebensdauernachweise, Testberichte, die Sicherheitsbewertungen und alle Limitierungen oder Wartungsanforderungen ein.

Reifmachung der dynamischen Komponenten für Demonstrator B, inkl. Flugfreigabe

Am Hauptgetriebe wurde eine Rotorbremse als zusätzliches System eingebaut. Für den Demonstrator A wurde darauf verzichtet, aber mit Blick auf die angestrebte produktnahe Validierung ist diese Bremse relevant. Es wurden die Bremsleistung sowie die Feuerfestigkeit der Leitungen inklusive der neu spezifizierten Bremsflüssigkeit überprüft.

Die Zeichnungsfreigabe für die dynamischen Komponenten wurde pünktlich abgeschlossen. Die darauffolgende Flugfreigabe für das dynamische System ähnelte der Freigabe für die Zelle, jedoch mit stärkerem Fokus auf Ermüdungs- und Lebensdauerberechnungen. Konservative Grenzwerte für die ersten Flüge wurden zunächst festgelegt und später basierend auf Flugtestergebnissen und Komponententests angepasst.

Reifmachung der Elektrik für Demonstrator B, inkl. Flugfreigabe

Es wurde intensiv an den Optimierungen für Kabelbündel gearbeitet, welche nicht nur die Herstellung, sondern auch den Einbau und die Funktionsprüfung der Bündel von vornherein berücksichtigten.

Der Unterschied zwischen den Demonstratoren ist beim elektrischen System am größten, da Demonstrator B auf produktnahe Validierung ausgelegt ist und deshalb die meisten der typischen Ausstattungswünsche von Kunden berücksichtigt.

Bewertung bezüglich Lasten, Vibration und Performance

Die gemessenen Lasten am Demonstrator A an der Hubschrauberzelle und am Heckausleger entsprachen den Vorhersagen, was die Validität der Berechnungsmodelle bestätigt. Die Flugtestergebnisse zu Vibrationen übertrafen die Erwartungen, sodass viele Baugruppen im Demonstrator B unverändert verwendet oder die leichteste Variante als Basisdesign gewählt werden konnten. Lediglich lokale Verbesserungen wurden vorgenommen.

Hinsichtlich der Performance wurde eine sehr gute Nutzlast erreicht, indem das Leergewicht des Hubschraubers niedrig gehalten werden konnte.

II.1.2.3 Bodenläufe und Flugvorbereitung

Während der Bodenläufe war es die Aufgabe der Entwicklung, die Messdaten zu überwachen, auszuwerten und falls nötig, technische Änderungen vorzunehmen. Diese Änderungen wurden lückenlos dokumentiert, so dass die Flugfreigabe immer auf dem aktuellen Konfigurationsstand des Hubschraubers basiert.

Zur Begleitung der Bodenläufe gehört auch die Prozedur des dynamischen Wuchtens von Hauptrotor und Fenestron. Anschließend wurden die Torsionsschwingungen im Antriebsstrang des Heckrotors bewertet, sowie eine mögliche Resonanz des Landewerks auf Betonuntergrund und Gras ausgeschlossen.

Nachdem alle Prüfungen positiv ausfielen, konnte der Erstflug stattfinden. Das ambitionierte Ziel, einen Demonstrator in den Flugtestbetrieb zu bringen, wurde erreicht inklusive der Integration vielfältiger Forschungs- und Entwicklungsthemen.

II.1.3 Fazit

Zusammenfassend konnten die im Antrag genannten Ziele nahezu vollständig erreicht werden, und die globale Architektur des Helikopters wurde erfolgreich bestätigt. Die Zusammenführung von verschiedenen Forschungsergebnissen mit unterschiedlichem Reifegrad zu einem flugfähigen Luftfahrzeug ist als großer, technischer Erfolg zu sehen. Das komplexe Gesamtsystem wurde auf einen Stand gebracht, der die Erwartungen besonders hinsichtlich der Flugeigenschaften übertroffen hat.

II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Gegenüber der ursprünglichen Planung und des Zuwendungsbescheids, wurde der Gesamtkostenrahmen vollständig ausgeschöpft.

Im zahlenmäßigen Nachweis gab es folgende Abweichungen in den folgenden Positionen:

- 0813 Materialkosten waren keine geplant sind auch nicht angefallen.
- 0837 Personalkosten 3,98% höher (entspricht 3,41 % der Gesamtkosten)
- 0838 Reisekosten waren keine geplant sind auch nicht angefallen.
- 0850 sonst. Vorhabenkosten 23,32 % niedriger (entspricht 1,34 % der Gesamtkosten)
- 0860 Verwaltungskosten 15,95 % niedriger (entspricht 1,38 % der Gesamtkosten)

Die niedrigeren sonstigen Vorhabenkosten und Verwaltungskosten begründen sich aufgrund der unterschiedlichen Werte aus der Vorkalkulation und der tatsächlichen angefallenen Kosten gemäß Nachkalkulation (z.B. Kalkulatorische Zinsen).

II.3 Der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die durchgeführten Maßnahmen und die aufgewandten Ressourcen standen in direktem Zusammenhang mit den ursprünglichen Projektzielen. Die Arbeit war entscheidend, um die im Arbeitsplan formulierten Aufgaben erfolgreich umzusetzen und die in der Planungsphase identifizierten Herausforderungen zu bewältigen. Ohne diese Arbeit wären die angestrebten Ergebnisse nicht erreichbar gewesen.

Der Umfang und die Art der geleisteten Arbeit waren im Verhältnis zu den gesetzten Zielen und dem zur Verfügung gestellten Budget angemessen. Alle Tätigkeiten wurden effizient durchgeführt, und die eingesetzten Mittel wurden nach den Grundsätzen der Sparsamkeit und Wirtschaftlichkeit verwendet. Die Ergebnisse und Erkenntnisse, die dabei erzielt wurden, bieten eine solide Grundlage für die weitere Verwertung.

II.4 Des voraussichtlichen Nutzens

IGEL leistet einen Beitrag zum Förderziel leistungsfähige und effiziente Luftfahrt, indem die Gesamtsystemfähigkeit der Hubschrauberentwicklung und -fertigung für die deutsche Luftfahrtindustrie gestärkt wird.

Durch das Verständnis des vollständigen Luftfahrzeugs sowie einer Risikominimierung auf Gesamtsystemebene werden Kernkompetenzen erhalten und ein hohes Wertschöpfungspotential generiert. Damit bildet IGEL die Voraussetzung für zukünftige leistungseffiziente Produkte und trägt zu einer nachhaltigen Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit bei.

Als Demonstrator-Projekt hat IGEL das Ziel eine Technologiereife zu erreichen, was anschließend eine relativ zeitnahe Verwertung – im Zeitraum von drei bis vier Jahren – ermöglichen wird. In dieser Zeit sind Schritte zur Industrialisierung geplant, die Entwicklung und Erstellung von Bauunterlagen zur Serienfertigung, sowie die Abstimmung mit den Luftfahrtbehörden zur Zulassung eines neuen Produkts. Die dadurch entstehenden Aufgaben und Arbeitsanteile kommen direkt den deutschen Industriestandorten zugute.

II.5 Des bekannt gewordenen Fortschritts

Während der Laufzeit des Projekts wurden keine Entwicklungen von anderen Stellen bekannt, die vergleichbare Inhalte hätten.

II.6 Veröffentlichungen

Innerhalb des Projektes sind keine Veröffentlichungen durch Airbus Helicopters durchgeführt worden.