

„Effiziente Kabine durch digitale Vernetzung von Technologien und Systemen“ - EFFEKT -

Abschlussbericht

Zuwendungsempfänger: Diehl Aviation Gilching GmbH
Förderkennzeichen: 20D1927F
Genehmigte Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2020 – 30.09.2023
Erstellungsdatum: 29.11.2023

Berichterstatter:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "P. M. Schäfer", written over a horizontal line.

Dr. Philipp Schäfer

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "i. V. Philipp", written over a horizontal line.

Dr. Jan Boris Philipp

gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis.....	vi
1 Aufgabenstellung.....	1
2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	5
3 Planung und Ablauf des Vorhabens.....	6
3.1 Balkenplan.....	7
3.2 Meilensteinplanung	10
4 Wissenschaftlich Technischer Stand zu Vorhabensbeginn und Aussicht auf Erreichung der Ziele des Vorhabens	12
4.1 II.1 Stand der Wissenschaft und Technik.....	12
4.2 II.2 Bisherige Arbeiten.....	15
5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	18
6 Eingehende Technische Darstellung der Projektergebnisse	20
6.1 Hauptarbeitspaket 1: Digitaler Lebenszyklus	20
6.1.1 Arbeitspaket 1.3: Digitale After Sales & Services	20
6.2 Hauptarbeitspaket 2: Kosteneffiziente Produktion und Materialien.....	27
6.2.1 Arbeitspaket 2.1: Flexible und autonome Herstellprozesse	27
6.3 Hauptarbeitspaket 3: Kabinensysteme & Netzwerke.....	34
6.3.1 Arbeitspaket 3.1: Cabin Experience System NG	34
6.3.2 Arbeitspaket 3.2: Wassersystemkomponenten.....	42
6.3.3 Arbeitspaket 3.3: Galley Luftkühlsysteme.....	62
6.3.4 Arbeitspaket 3.4: Katalytisches Not-Sauerstoffsystem.....	77
7 Verwendung der Zuwendung.....	87
7.1 Zielsetzungen und Ergebnisse.....	87
7.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Verwendungsnachweises	90
7.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	90
8 Voraussichtliche Verwertbarkeit der Ergebnisse	92
9 Während der Durchführung bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen	93
10 Geplante oder erfolgte Veröffentlichungen und Vorträge	94

Abbildungen

Abbildung 3-1 Projektstrukturplan des Verbundvorhabens EFFEKT	6
Abbildung 3-2 Balkenplan Teil 1	8
Abbildung 3-3 Balkenplan Teil 2	9
Abbildung 4-1 Druckverlust im Vakuum-Toiletten-System.....	15
Abbildung 4-2 Konzept des thermoplastischen Wassertanks	16
Abbildung 6-1 SPLUNK Data Analytics Applikation	20
Abbildung 6-2 Darstellung von Gerätedaten im zeitlichen Verlauf.....	21
Abbildung 6-3 Dashboards zu Reparaturen und Fehlerursachen in SPLUNK.....	22
Abbildung 6-4 Zeitlicher Verlauf von Leistung und Temperatur im Endurance Test	22
Abbildung 6-5 Temperaturmessungen in der Laufradachse	23
Abbildung 6-6 Messungen mit Laservibrometer	23
Abbildung 6-7 Messsystem zur Vibrationserfassung	24
Abbildung 6-8 Vibrationserfassung mit Beschleunigungssensor auf Pumpenplatine	24
Abbildung 6-9 Wasserfalldiagramm zum Frequenzspektrum	24
Abbildung 6-10 Schematische Darstellung zur Erkennung von Rohrverstopfung.....	25
Abbildung 6-11 Teststand für Versuche zur Rohrverstopfungserkennung	25
Abbildung 6-12 Druckverlaufskurven für verschiedene Verschmutzungszustände	26
Abbildung 6-13 Einfluss des Tankfüllstands	26
Abbildung 6-14 Einfluss der Wassermenge des Flushes	26
Abbildung 6-15 Wärmeeintrag in den Liner während des Tapelegens	28
Abbildung 6-16 Konzept Linerherstellung: Herstellung von Halbschalen	29
Abbildung 6-17 Konzeptvariante: Fügen der Halbschalen zu geschlossenem Liner	29
Abbildung 6-18 Verstärkung von Halbschalen vor dem Fügen.....	30
Abbildung 6-19 Voruntersuchung für das Tapelegeverfahren	31
Abbildung 6-20 Vorrichtungsanpassung für die senkrechte Linerlagerung	31
Abbildung 6-21 Tapelegeprozess zur Herstellung des Tankdemonstrators	32
Abbildung 6-22 Gedrucktes Lüfterlaufrad mit optimierter Schaufelgeometrie für ARU ..	33
Abbildung 6-23 3D-gedrucktes und integrales Pumpengehäuse.....	33
Abbildung 6-24 Verriegelungsaktuator und Verschlussbedienung	35
Abbildung 6-25 Türverschluss-Konzepte	35
Abbildung 6-26 Simulation der Lastmomente für einen spezifischen Lastpunkt.....	36
Abbildung 6-27 Türantrieb Neu.....	37

Abbildung 6-28 Prototyp berührungsloser Taster und Ersatz-Nachbildung	37
Abbildung 6-29 Steuerelektronik MMCU und Gehäuse	37
Abbildung 6-30 Tür mit Motor und Kabelverbindung	38
Abbildung 6-31 Laboraufbau Riegel mit Taster-Emulation	38
Abbildung 6-32 Dauerlauf-Teststand	39
Abbildung 6-33 EMV – Laboraufbau und Messprotokoll.....	40
Abbildung 6-34 Offene Tür bei maximaler Schräglage	41
Abbildung 6-35 Messedemonstrator Details: berührungslose Taster und Schloss.....	42
Abbildung 6-36 Schematische Darstellung des berührungslosen Wasserhahns.....	42
Abbildung 6-37 Platinenlayout mit IR-Sensor und Platine in Wasserhahn-Body	43
Abbildung 6-38 P Solenoid-Ventils und Funktionsmuster des Wasserhahns	44
Abbildung 6-39 Hydraulische Leistung des Wasserhahns.....	44
Abbildung 6-40 Beam horizontal ohne Linse und Gehäuse.....	45
Abbildung 6-41 Simulation der Bündelung der Linse und Richtcharakteristik.....	45
Abbildung 6-42 Radarsensor Linse	46
Abbildung 6-43 Gehäuse	46
Abbildung 6-44 Versuchsaufbau für Verifikationstests	47
Abbildung 6-45 Exemplarische Validierung der Füllstandsmessung	48
Abbildung 6-46 Funktionale Verifikation auf Hexapod	48
Abbildung 6-47 Prüfaufbau RTCA Messungen unter- und oberhalb von 18GHz.....	49
Abbildung 6-48 Vibrationstests nach RTCA DO160G	50
Abbildung 6-49 Wassereinlassfilters im Umfeld des Einfüllstutzens.....	51
Abbildung 6-50 Versuchstand mit Frischwassereinlassfilter.....	52
Abbildung 6-51 Einlassdruck über den Befüllungs- und Entleerungsvorgang.	53
Abbildung 6-52 Konzept für druckgeregeltes VTS mit Vakuumbrecher	54
Abbildung 6-53 Beschaffte Komponenten mit Adapterlösungen.....	54
Abbildung 6-54 Referenzmessung am nicht modifizierten VTS.....	55
Abbildung 6-55 Druckverläufe verschiedener VTS-Konfigurationen.....	56
Abbildung 6-56 VTS-Testrig mit Modifikationen.....	56
Abbildung 6-57 Quetschventil aus Schläuchen	57
Abbildung 6-58 IST-Zustand unter dem Waschtisch f	58
Abbildung 6-59 Kombinationsmöglichkeiten von Heizer, Mischer und Controller.....	59
Abbildung 6-60 Einbauszenarien für ein konventionelles Wassersystem.....	60

Abbildung 6-61 Vorgehen zur Ermittlung des Gesamtgewichtes.....	61
Abbildung 6-62 Gewichtsverteilung der drei verschiedenen LWSA-Konzepte.	61
Abbildung 6-63 Demonstrator des neuen LWSA-Konzeptes	62
Abbildung 6-64 Konzept für Airtaxi ARU	63
Abbildung 6-65 Laboraufbau	64
Abbildung 6-66 Laboraufbau mit E-Boxen und Sensoren.....	65
Abbildung 6-67 Verdampfer Auslass mit aerodynamischem Teststand verbunden	66
Abbildung 6-68 Thermografie des Verdampfers	67
Abbildung 6-69 Aufbau Tröpfchen-Abscheider Test.....	68
Abbildung 6-70 Siphon-Konzept bei Nachtest	68
Abbildung 6-71 Thermografie des Verdampfers	70
Abbildung 6-72 Luftstrom-Messwerte des Verdampfers	70
Abbildung 6-73 Neugestalteter Tröpfchenabscheider-Wasserauslass	71
Abbildung 6-74 Problemanalyse und Gliederung der Aktivitäten.....	72
Abbildung 6-75 Modifizierter Kompressor mit Metallschläuchen	72
Abbildung 6-76 Aeroakustisch optimierte Laufradgeometrien	73
Abbildung 6-77 Vergleich Schalldruckpegel	74
Abbildung 6-78 ARU der DAG im Versuchsaufbau des DLR	74
Abbildung 6-79 ARU der DAG mit CLD als passive Geräuschreduktionsmaßnahme ...	75
Abbildung 6-80 ARU der DAG mit Aktuatoren zur aktiven Geräuschreduktion	75
Abbildung 6-81 Druckverlustmessungen an Galley Luftführung	76
Abbildung 6-82 Grundreaktion zur Sauerstofffreisetzung	77
Abbildung 6-83 Sauerstoff-Flussratenprofil	78
Abbildung 6-84 Erzielbarer Temperaturanstieg bei Umsatz Booster mit Kalilauge.....	80
Abbildung 6-85 Reduktion der Reaktionsdauer durch Temperaturbooster	80
Abbildung 6-86 Reaktionsdauer in Abhängigkeit von der Kalilaugenkonzentration	81
Abbildung 6-87 Erzielte Sauerstoffflussprofile im finalen Maßstab	82
Abbildung 6-88 Echtzeit-Massenspektrum der Sauerstofffreisetzung	83
Abbildung 6-89 Kommerzieller Sauerstoffgenerator im Vergleich	85
Abbildung 6-90 Integrationsanalyse des Sauerstoffgenerators	85
Abbildung 6-91 Sinkender Platzbedarf des COG	86

Tabellen

Tabelle 3-1 Übersicht der Meilensteine	10
Tabelle 6-1 Testplan für Verifikation des Frischwasserfilters.....	52
Tabelle 6-2 Effizienz des Doppelkompressorbetriebes.....	67
Tabelle 6-3 Luftstrom-Messwerte des Kondensators bei 5000 rpm.....	67
Tabelle 6-4 Effizienz des Doppelkompressorbetriebes mit neuen Wärmetauschern.....	69
Tabelle 6-5 Reaktionszeit und Zeitreduktion in in Abhängigkeit von Temperatur und Katalysatorbeladung K	79
Tabelle 6-6 Ergebnisse der Massenspektrometrie (ohne Membran) für relevante Gasstromkontaminanten.	83

Abkürzungsverzeichnis

ADC	Analog-Digital Converter
AFP	Automated Fiber Placement
AM	Additive Manufacturing
AP	Arbeitspaket
APS	Absolute Pressure Sensor
ARU	Air Refrigeration Unit
ATP	Acceptance Test Procedure
CFK	Carbonfaserverstärkte Kunststoffe
CMOS	Complementary Metal-Oxide-Semiconductor
DAG	Diehl Aviation Gilching GmbH
DAH	Diehl Aviation Hamburg GmbH
DAL	Diehl Aviation Laupheim GmbH
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches
EASA	European Union Aviation Safety Agency
eVTOL	electrical Vertical Take Off and Landing
FS	Full Scale
GWRS	Greywater Reuse System
HAP	Hauptarbeitspaket
LWVM	Lavatory Wasserversorgungsmodul
MMCU	Multi-Motor-Control-Unit
OHSC	Overhead Storage Compartment
PEEK	Polyether-Ether-Ketone
PSU	Passenger Service Unit
SoC	System on Chip
TAP	Teilarbeitspaket
UHP	Urea Hydrogen Peroxide
VG	Vakuum Generator
VTS	Vakuum Toiletten System
WT	Waste Tank
WWS	Water Waste System

1 Aufgabenstellung

Im Rahmen des Teilvorhabens „Effiziente Wasser- und Luft-Systeme durch digitale Technologie“ (EWaLT) des Verbundprojektes „Effiziente Kabine durch digitale Vernetzung von Technologien und Systemen“ EFFEKT beabsichtigte die Diehl Aviation Gilching GmbH (DAG) neue Möglichkeiten der Digitalisierung zu nutzen, um innovative Produkte und effizientere Kabinensysteme zu entwickeln. Diese Maßnahmen sollen sicherstellen, dass DAG auch in Zukunft in technologischer und ökonomischer Sicht dauerhaft international angebots- und wettbewerbsfähig ist.

In den folgenden Abschnitten werden zunächst die wissenschaftlichen und technischen Aufgabenstellungen der DAG thematisch gegliedert beschrieben. Dabei werden die Änderungen in der Zielsetzung berücksichtigt, die im Laufe der Projektdurchführung notwendig waren und mit Zustimmung des Projektträgers umgesetzt wurden. Eine Zuordnung der einzelnen wissenschaftlich-technischen Inhalte zur Projektstruktur wird in Kapitel 3 des Berichts detaillierter beschrieben. Abschließend wird auf den Bezug der technischen Aufgabenstellungen zu den gesetzten förderpolitischen Zielen eingegangen.

Wartungsprognose Wasser-/Luftsystem

Das Ziel der Wartungsprognose besteht in der bedarfsgerechten Wartung von Geräten und Systemen anstelle der heute üblichen Wartung in festen Intervallen oder bei Ausfällen. Konkret heißt dies z.B. für eine Wasserpumpe, dass anhand von Geräuschen, Vibrationen oder Stromverbrauch erkannt wird, dass das Gerät in kurzer Zeit ausfallen wird und eine entsprechende Benachrichtigung erzeugt wird.

In EFFEKT sollten die Grundlagen zu einer vorausschauenden Wartung geschaffen werden. Hierzu sollten geeignete Messgrößen ausgewählt, Modelle für die Fehlererkennung erstellt und Demonstratoren aufgebaut und getestet werden.

Zur frühzeitigen Erkennung einer Blockade des Abwassersystems z.B. durch Rohrverstopfung sollte ein Modell entwickelt werden, das Druckverlaufskurven auswertet und damit die visuelle Inspektion der Rohre ersetzt.

Thermoplastischer Wassertank

Ziel der Arbeiten war die Entwicklung von Leichtbau-Frischwassertanks für die Luftfahrtindustrie unter Verwendung neuer effizienterer Materialien bzw. Materialkombinationen. Im Fokus des Vorhabens stand dabei die Erarbeitung einer flexibleren, effizienten und durchgängigen Prozesskette. Das technologische Konzept sah vor, zunächst einen integralen thermoplastischen Liner herzustellen. Dabei sollte durch ein formgebendes Verfahren ein Teilsegment des Liners aus einem thermoplastischen Halbzeug (z.B. Folie) gefertigt werden. Durch einen geeigneten Prozess werden die Teilsegmente zu einem integralen Liner zusammengefügt. Dieser Liner sollte idealerweise sowohl als Fertigungshilfsmittel (Kern) als auch als Funktionsschicht des Tanks fungieren. Das Aufbringen der Faserverstärkung sollte im lasergestützten Automated-Fiber-Placement-Verfahren erfolgen.

Kosteneffiziente additive Metallfertigung

Im Vorhaben sollte für zukünftige Gerätegenerationen ein Mehrwert durch die Anwendung additiver Fertigungsmethoden (Additive Manufacturing, AM) für Metallbauteile geschaffen werden. Ziel war es zum einen eine Kostenreduktion gegenüber konventionellen Fertigungsmethoden durch Einsparungen von Werkzeugkosten und Montageaufwänden zu realisieren. Zum anderen sollte eine signifikante Gewichts- und Volumenreduktionen bei gleichzeitiger Qualitätssteigerung erreicht werden durch Bauteil- und Funktionsintegration. Im Vorhaben sollten daher Bauteile und Baugruppen identifiziert werden, die durch ein AM-gerechtes Design entsprechende Vorteile haben. Des Weiteren sollten die Voraussetzungen für eine Prozesszertifizierung und die Grundlagen für die Qualitätssicherung nach Serienübergang erarbeitet werden.

Intelligente Lavatory und Frischwassersystemkomponenten

Die „Intelligente Lavatory“ ist Teil des „Cabin Experience Networks NG“, das im Rahmen des Vorhabens aufgebaut wird. Seitens der DAG sollten hierfür ein voll digitalisierbarer, berührungsloser Tür- und Schlossaktuator inklusive der notwendigen Bedienlogik entwickelt werden.

Zudem sollten verschiedene Wassersystemkomponenten für zukünftige Kabinenanwendungen entstehen.

Ein zentrales Element der Lavatory ist das innovative Lavatory Wasserversorgungsmodul, welches die Funktionen der bisherigen Einzelgeräte wie berührungsloser Wasserhahn, UV-LED-Desinfektion, Mischventil und Heizer zu einem „smarten“ Modul zusammenfassen sollte.

Ein weiterer Schwerpunkt des Vorhabens war die Entwicklung eines Radarsensors zur Füllstandsmessung in Frischwassertanks. Darin werden die Komponenten Sender, Empfänger, Verstärker, Analog-Digital-Wandler und Mikroprozessor in einem CMOS-Chip (SoC) zu einem miniaturisierten und flexiblen Sensor vereint, der in unterschiedlichsten Tankformen einsetzbar ist und Smarte-Funktionen beinhaltet.

Die Entwicklung eines Betankungsfilters, der vor Kontamination des Trinkwassersystems mit unerwünschten Mikroorganismen des eingefüllten Wassers schützt, stellte einen weiteren Schritt zum Schutz der Passagiere und zur Senkung der hohen Wartungskosten des Betreibers dar.

Mit der Entwicklung der vollkommen neuen Frischwassersystemkomponenten werden die Gesamtsystemfähigkeit wie auch die fachübergreifenden Entwicklungskompetenzen der DAG gestärkt.

Um die Geräusche durch Spülvorgänge des Vakuum-Toiletten-Systems zu verringern sollten im Rahmen des Verbundvorhabens Konzepte zur Begrenzung des Unterdrucks und zur Regelung der Druckdifferenz im Toilettensystem erarbeitet werden. Beides bildet eine physikalische Grundlage zur Reduktion des Spülgeräuschs. Der besondere Fokus lag hierbei auf der Erarbeitung von Lösungen, welche die Gesamtzuverlässigkeit des Toilettensystems nicht beeinträchtigen. Die Funktionalität des gewählten Konzeptes sollte abschließend in einem Systemprüfstand für das Vakuum-Toiletten-System validiert werden.

Galley Luftkühlsysteme

Neue eigenständige Galley Luftkühlsysteme auf Basis der „Air Refrigeration Units (ARU)“ bieten große Vorteile gegenüber Systemen mit zentraler Kälteversorgung, haben jedoch Einschränkungen hinsichtlich Lärmerzeugung. Daher sollten die Geräuschemissionen der ARU reduziert werden. Ziel war es die Schalldämpfung mit aktivem Gegenschall zu erreichen, um die Lärmbelastung ohne zusätzlichen Bauraum oder ohne gewichtsintensive Dämmung signifikant zu senken.

Eine weitere Aufgabe ist die Entwicklung einer Klimaanlage für Flugtaxi basierend auf der ARU Technologie.

Notsauerstoffsysteme

In Passagierflugzeugen erfolgt die Notsauerstoff-Versorgung in der Regel für den Fall des Druckabfalls in der Kabine durch Chlorat-Kerzen. Diese sind aufgrund der hohen Reaktionstemperaturen von bis zu 700°C aufwendig zu isolieren und zu integrieren.

Ziel war die Entwicklung eines Notsauerstofferzeugers auf Basis einer katalytischen Chemie mit Reaktionstemperaturen kleiner als 150°C. Dies ermöglicht in der Folge ganz andere Isolations- und Integrationskonzepte und damit deutliche Kosten- und Gewichtseinsparungen.

Die im Teilvorhaben EWaLT gestellten Aufgaben unterstützen in ihrer Gesamtheit die Schwerpunkte und Ziele des Luftfahrtforschungsprogramm des BMWK (LuFo VI) in umfangreicher Art und Weise und sind dadurch auch im Einklang mit strategischen, nationalen (Luftfahrtstrategie der Bundesregierung) sowie internationalen (Strategic Research and Innovation Agenda des Advisory Council for Aviation Research and Innovation in Europe) Forschungsagenden. Eine umweltfreundliche Luftfahrt wird im Rahmen des Teilvorhabens beispielsweise durch die Entwicklung deutlich

gewichtsreduzierter, kompakter Komponenten wie dem Radarfüllstandsensoren, der katalytischen Notsauerstoffgeneration und durch die optimierte Wasserversorgung in der Lavatory erreicht. Einen entscheidenden Beitrag zu passagierfreundlicheren Luftfahrttransportsystemen wird durch die Nutzung der neuen Möglichkeiten der Digitalisierung im Rahmen innovativer Produkte und effizienterer Kabinensysteme geleistet. Intelligente Lavatory Funktionen und verschiedene Maßnahmen zur Lärmreduktion in der Kabine steigern den Passagierkomfort. Die Implementierung von Wartungsprognose Funktionen helfen Wartungs- und Reparaturkosten zu reduzieren und somit den Paradigmenwechsel von festen zu ressourcenschonenderen, bedarfsorientierten Wartungsaktivitäten zu durchlaufen. Dies erhöht in Summe die Leistungsfähigkeit und Effizienz der Luftfahrt.

2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die DAG ist langjähriger, etablierter Systemlieferant und Tier-1-Supplier in der Luftfahrtindustrie unter anderem für Wasser-/ Abwassersysteme (WWS), Klimaunterstützungssysteme und Rauchwarnsysteme.

Insbesondere im Bereich der Wasser-/Abwassersysteme nimmt die DAG eine führende Stellung ein. Das Unternehmen baut seine technologische Spitzenstellung in diesen Bereichen durch Kooperationen mit Forschungsinstituten und Partnern kontinuierlich weiter aus. Eine entscheidende Rolle dabei spielen Forschungs- und Innovationsprojekte. Seit vielen Jahren hat die DAG durch Unterstützung der Luftfahrtforschungsprogramme des Bundes und regionaler Initiativen erfolgreich Innovationen in den verschiedenen Geschäftsfeldern vorangetrieben. Als führender Hersteller für Wasser- und Abwassersysteme wurde DAG zudem als Core-Partner in das europäische Forschungsprogramm CleanSky 2 (ITD Systems) aufgenommen.

Die Fähigkeiten der DAG im Bereich der Luftfahrtgeräte- und Systementwicklung erstrecken sich von der Konzepterstellung über die Systemauslegung/-simulation, Hardware- und Softwareentwicklung bis hin zur luftrechtlichen Qualifizierung von Geräten. An den beiden Produktionsstandorten in Gilching und Dresden können weite Bereiche der Wertschöpfungskette wie die mechanische, zerspanende Herstellung von komplexen Bauteilen oder die Bestückung von Leiterplatten im Haus durchgeführt werden. Zudem verfügt DAG über ein regionales und überregionales Netzwerk an hochspezialisierten Lieferanten, um spezielle Aufgaben entlang der Wertschöpfungskette zu übernehmen.

Neben der Entwicklung und Herstellung von Luftfahrtgeräten ist die DAG ebenfalls Instandhaltungsorganisation für die eigenen Geräte nach EASA Part 145 und führt somit auch Reparaturen für seine Kunden aus. Zudem ist dieser Kontakt zu Endnutzern der Geräte zugleich eine wichtige Voraussetzung zur Umsetzung der beschriebenen Ziele im Bereich Wartungsprognose.

Zu den Kunden der DAG gehören dabei alle wesentlichen zivilen OEMs der Welt. Beispielsweise ist DAG Lieferant für die Wasser- und Abwassersysteme des A350 Programms und des G7000/8000 Business Jets von Bombardier. Gleichmaßen liefert DAG einzelne Geräte oder Teilsysteme für Frisch- und Abwassersysteme an Boeing und Gulfstream. Im Bereich der Klimasysteme entwickelt und fertigt DAG Lüfter, Kühler, Luftbe- bzw. entfeuchtungssysteme oder moderne Kühlgeräte für Speisen und Getränke in Galleys und ist mit diesen Komponenten in beinahe allen aktuellen Airbus Programmen vertreten.

Zusammenfassend besitzt die DAG unter Berücksichtigung ihrer Fähigkeiten, des erfahrenen Stamms an Mitarbeitern, ihres Netzwerks an Forschungseinrichtungen und Zulieferern, sowie ihrer bisherigen Erfahrung in Forschungs- und Innovationsprojekten hervorragende Voraussetzungen, die ambitionierten Aufgabenstellungen des Verbundvorhabens erfolgreich zu bearbeiten.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Verbundprojekt EFFEKT untergliederte sich in drei Hauptarbeitspakete (HAP), sowie das zusätzliche AP0 für die Verbundkoordination. Abbildung 3-1 zeigt den Projektstrukturplan (PSP). Die Diehl Aviation Laupheim GmbH (DAL) agierte als Verbundführer des Gesamtvorhabens EFFEKT. Die DAG nahm in der Rolle eines Verbundpartners am Forschungsvorhaben teil. Dabei entfiel die Leitung des HAP2 auf die DAG. Die einzelnen Arbeitspakete wurden von dem jeweils im Projektstrukturplan unterstrichenen Partner geleitet. Die Arbeitspakete mit Beteiligung der DAG sind rot umrandet dargestellt.

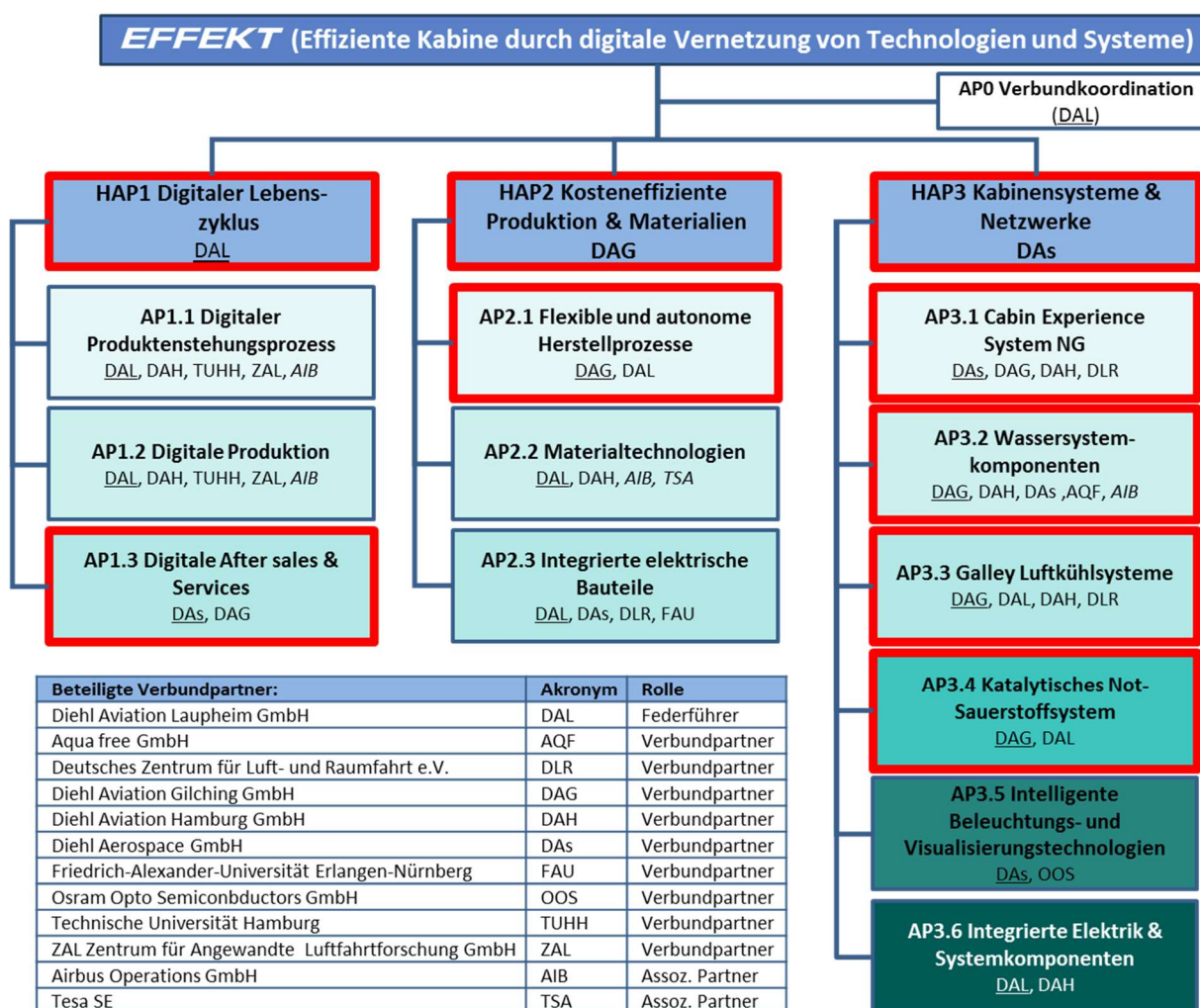


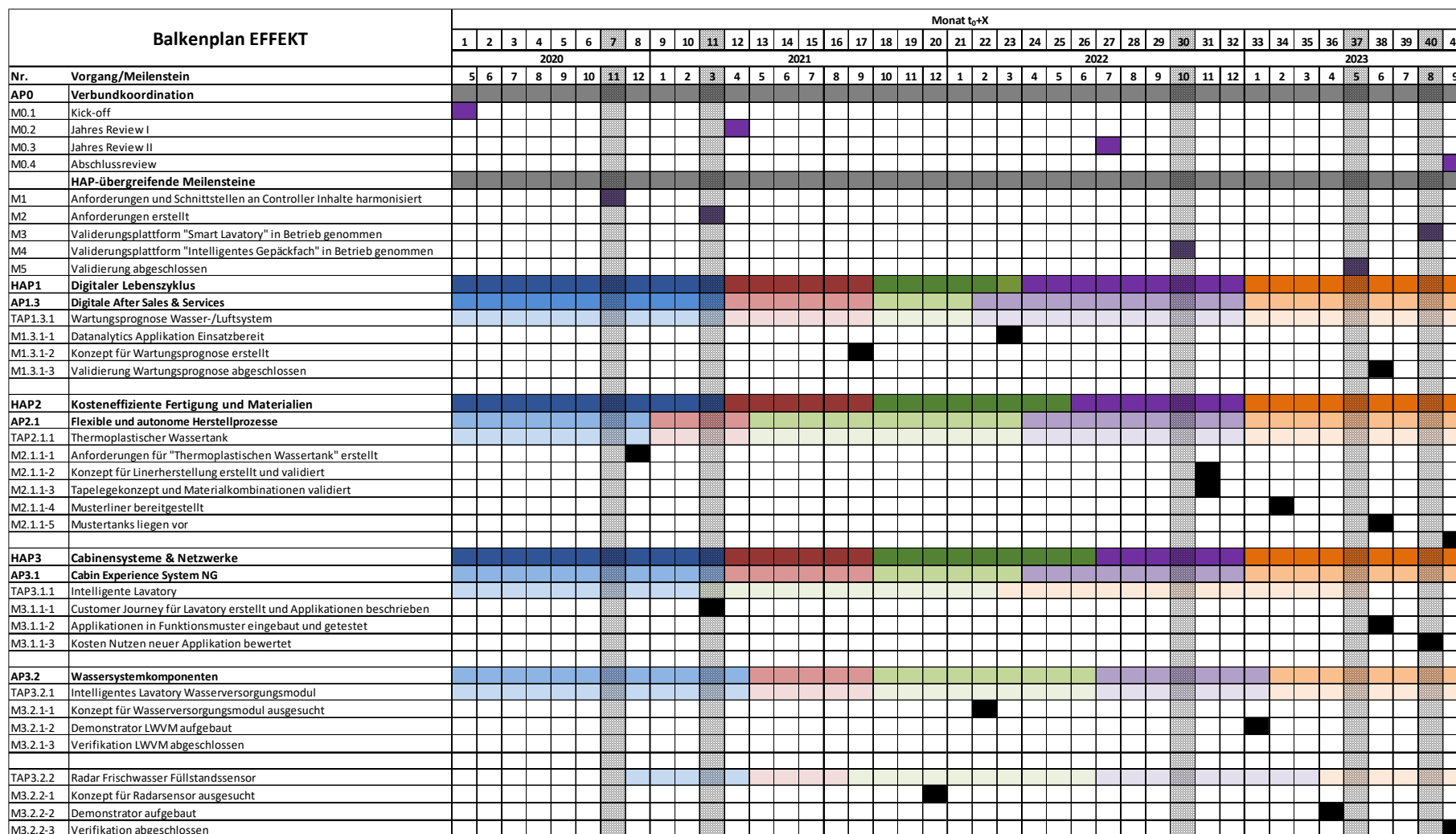
Abbildung 3-1 Projektstrukturplan des Verbundvorhabens EFFEKT

Die ursprünglich beantragte Laufzeit des Verbundvorhabens belief sich auf drei Jahre (01.01.2020 bis 31.12.2022). Trotz einer sorgfältigen Planung und Projektsteuerung, kam es in einigen zentralen Arbeitspaketen aufgrund einer begrenzten Materialverfügbarkeit, verzögerten Gesprächen mit Unterauftragnehmern bzw. aufgrund von unerwarteten technischen Ergebnissen, die einen weiteren Iterationszyklus erforderlich machten, zu Verzögerungen. Daher wurde im April 2022 eine kostenneutrale Laufzeitverlängerung des Projekts bis zum 30.09.2023 beantragt und bewilligt.

Die einzelnen Arbeiten erfolgten in unterschiedlichen, Projektteams auf Ebene der APs bzw. TAPs. Dabei umfassten die Teams nicht nur Mitglieder aus unterschiedlichen Fachbereichen wie Elektronik- oder Mechanikentwicklung der DAG, sondern auch Mitarbeitende von unterschiedlichen Verbundpartnern (vgl. hierzu auch Kapitel 5). Dabei erfolgte der regelmäßige Austausch im Statusmeetings per Videokonferenz. Zusätzlich wurden – in Abhängigkeit des Themas – Präsenzworkshops zu bestimmten Anlässen oder für gemeinsame Versuche durchgeführt.

3.1 Balkenplan

Zur Beantragung des Verbundprojekts erfolgte eine detaillierte Ressourcen- und Terminplanung. Im Rahmen des durchgeführten Projektmanagements in der Durchführungsphase wurde diese Planung regelmäßig aktualisiert. Abbildung 3-2 und Abbildung 3-3 zeigen die Fassung des Balkenplans zum Ende des Projekts.



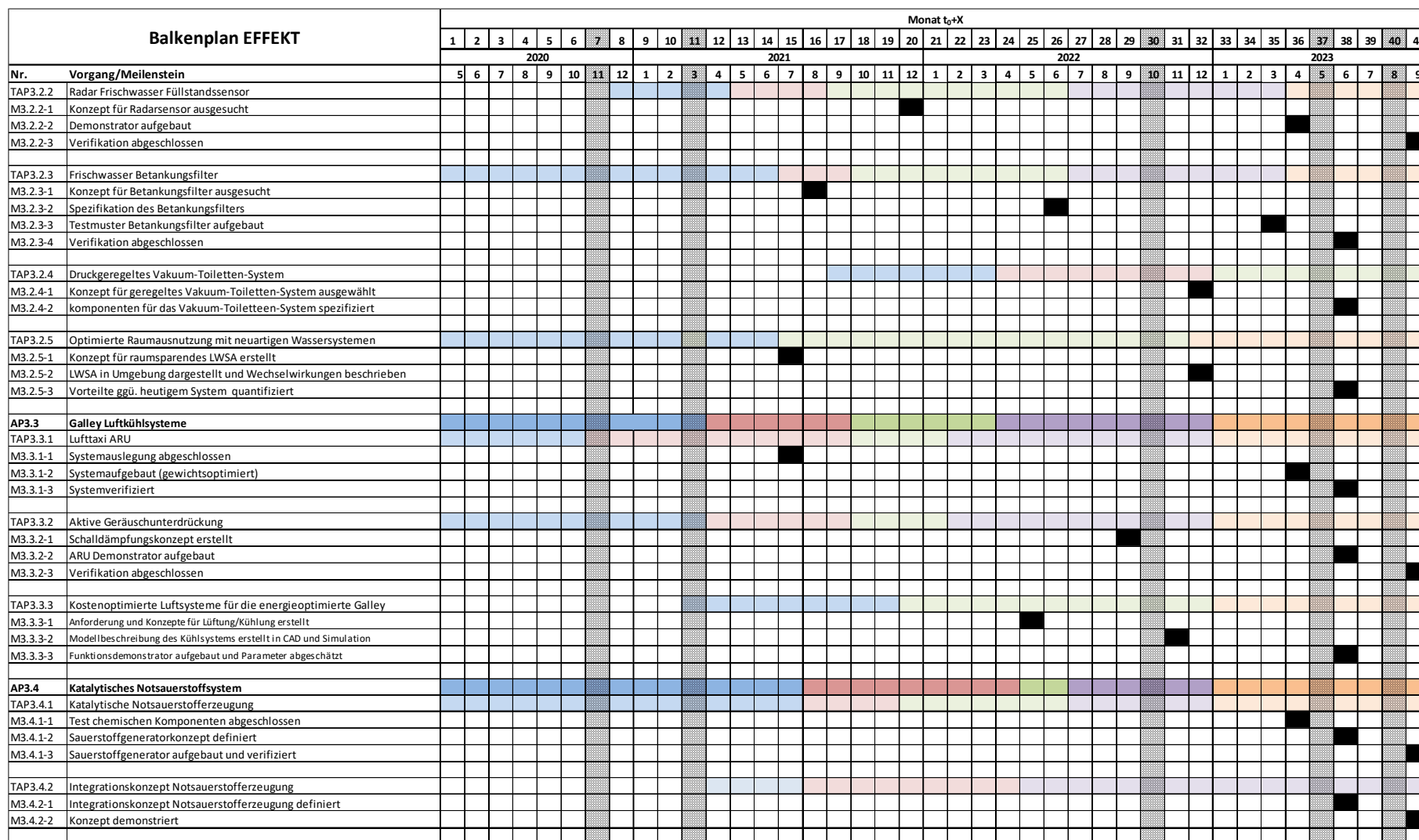


Abbildung 3-3 Balkenplan Teil 2

3.2 Meilensteinplanung

Einen weiteren Teil der Planung des Verbundprojekts umfasste die Meilensteinplanung. Tabelle 3-1 zeigt eine Übersicht der für Diehl Aviation Gilching relevanten Projektmeilensteine. Analog zur oben beschriebenen Aktualisierung der Terminpläne erfolgte eine regelmäßige Aktualisierung der Meilensteine. Das dargestellte Plandatum bezieht sich auf das ursprüngliche Plandatum zur Antragsstellung bzw. auf das im Rahmen der Zwischenberichtserstattung zuletzt vorgesehene Datum.

Tabelle 3-1 Übersicht der Meilensteine

Nr.	Meilensteinbezeichnung	Plandatum	Abschlussdatum	Status
M0-1	Kick-off Meeting (-> Skype)	31.05.20	31.05.20	erreicht
M0-2	Jahres Review I	15.04.21	15.04.21	erreicht
M0-3	Jahres Review II	31.07.22	31.07.22	Erreicht
M0-4	Abschluss Review	30.06.23	26.09.23	erreicht
M1	Anforderungen und Schnittstellen an Controller ->Inhalte harmonisiert	30.11.20	30.11.20	erreicht
M2	Anforderungen erstellt	31.03.21	31.03.21	erreicht
M3	Validierungsplattform "Smart Lavatory" in Betrieb genommen	31.03.22	30.08.23	erreicht
M4	Validierungsplattform "Intelligentes Gepäckfach" in Betrieb genommen	31.10.22		Keine DAG Beteiligung
M5	Validierung abgeschlossen	31.05.23	31.05.23	erreicht
M1.3.1-1	Data-Analytics Applikation einsatzbereit	31.03.22	31.03.22	erreicht
M1.3.1-2	Konzept für Wartungsprognose erstellt	30.09.21	30.09.21	erreicht
M1.3.1-3	Validierung Wartungsprognose abgeschlossen	30.06.23	30.06.23	erreicht
M2.1.1-1	Anforderungen für "Thermoplastischen Wassertank" erstellt	31.12.20	31.12.20	erreicht
M2.1.1-2	Konzept für Linerherstellung erstellt und validiert	31.10.21	30.11.22	erreicht
M2.1.1-3	Tapelegekonzept und Materialkombinationen validiert	31.03.22	30.11.22	erreicht
M2.1.1-4	Musterliner bereitgestellt	30.09.22	30.06.23	erreicht
M2.1.1-5	Mustertanks liegen vor	28.02.23	30.09.23	erreicht
M3.1.1-1	Customer Journey für Lavatory erstellt und Applikationen beschrieben	31.03.21	31.03.21	erreicht
M3.1.1-2	Applikationen in Funktionsmuster eingebaut und getestet	31.03.22	30.06.23	erreicht
M3.1.1-3	Kosten Nutzen neuer Applikationen bewertet	31.08.22	30.08.23	erreicht
M3.2.1-1	Konzept für Wasserversorgungsmodul ausgesucht	28.02.22	28.02.22	erreicht
M3.2.1-2	Demonstrator LWVM aufgebaut	31.01.23	31.01.23	erreicht

Nr.	Meilensteinbezeichnung	Plandatum	Abschlussdatum	Status
M3.2.1-3	Verifikation LWVM abgeschlossen	30.06.23		gestrichen
M3.2.2-1	Konzept für Radarsensor ausgesucht	24.12.21	24.12.21	erreicht
M3.2.2-2	Demonstrator Radarsensor aufgebaut	31.01.23	15.04.23	erreicht
M3.2.2-3	Verifikation Radarsensor abgeschlossen	30.09.23	30.09.23	erreicht
M3.2.3-1	Konzept für Betankungsfilter ausgesucht	31.08.21	31.08.21	erreicht
M3.2.3-2	Spezifikation des Betankungsfilters erstellt	30.06.22	30.06.22	erreicht
M3.2.3-3	Funktionsmuster Betankungsfilter aufgebaut	31.03.23	31.03.23	erreicht
M3.2.3-4	Verifikation Betankungsfilter abgeschlossen	30.06.23	30.06.23	erreicht
M3.2.4-1	Konzept für geregeltes VTS ausgewählt	31.12.22	31.12.22	erreicht
M3.2.4-2	Komponenten für das geregelte VTS spezifiziert	30.06.23	30.06.23	erreicht
M3.2.5-1	Konzept für raumsparendes LWSA erstellt	31.07.21	31.07.21	erreicht
M3.2.5-2	LWSA in Umgebung dargestellt und Wechselwirkung beschrieben	31.12.22	31.12.22	erreicht
M3.2.5-3	Vorteile ggü. heutigem System quantifiziert und dargestellt	30.06.23	30.06.23	erreicht
M3.3.1-1	Systemauslegung Airtaxi ARU abgeschlossen	31.07.21	31.07.21	erreicht
M3.3.1-2	System Airtaxi ARU (gewichtsoptimiert) aufgebaut	31.01.23	31.04.23	erreicht
M3.3.1-3	System Airtaxi ARU verifiziert	30.06.23	30.06.23	erreicht
M3.3.2-1	Schalldämpfungskonzept erstellt	31.05.22	30.09.22	erreicht
M3.3.2-2	ARU Demonstrator mit Schalldämpfungskonzept aufgebaut	28.02.23	30.06.23	erreicht
M3.3.2-3	Verifikation schallgedämpfte ARU abgeschlossen	30.06.23	30.09.23	erreicht
M3.3.3-1	Anforderungen und Konzepte für Lüftung/Kühlung erstellt	30.11.21	31.5.22	erreicht
M3.3.3-2	Modellbeschreibung des Kühlsystems erstellt (in CAD)	30.11.22	30.11.22	erreicht
M3.3.3-3	Funktionsdemonstrator aufgebaut und Parameter abgeschätzt	30.06.23	30.06.23	erreicht
M3.4.1-1	Test chemische Komponenten abgeschlossen	31.12.23	28.09.23	erreicht
M3.4.1-2	Sauerstoffgeneratorkonzept definiert	30.06.23	30.09.23	erreicht
M3.4.1-3	Sauerstoffgenerator aufgebaut und verifiziert	30.06.23	30.09.23	erreicht
M3.4.2-1	Integrationskonzept Notsauerstofferzeugung definiert	31.05.23	01.08.23	erreicht
M3.4.2-2	Konzept demonstriert	30.06.23	30.09.23	erreicht

4 Wissenschaftlich Technischer Stand zu Vorhabensbeginn und Aussicht auf Erreichung der Ziele des Vorhabens

4.1 Stand der Wissenschaft und Technik

Wartungsprognose Wasser-/Luftsystem

Die Wartungsprognose ist im industriellen Umfeld und insbesondere in der Automobilindustrie ein allgemeiner technischer Trend, mit dem in den letzten Jahren große Fortschritte erzielt wurden. Grundlage einer Wartungsprognose ist immer eine gute Datenlage. Die Bereiche der „Big-Data“ und „Data-Analytics“ haben sich auch in der Luftfahrt stark entwickelt, beispielsweise mit der Plattform Skywise von Airbus.

Die für Wartungsprognosen erforderlichen Sensoren sind in den letzten Jahren durch Fortschritte in der Mikroelektronik deutlich kleiner, leichter und preiswerter geworden, so dass sie jetzt auch für neue Anwendungen in Flugzeugen eingesetzt werden können.

Thermoplastischer Wassertank

Frisch- und Abwassertanks aus faserverstärkten Kunststoffen für die Luftfahrt werden meist im Nasswickelverfahren, in einigen Fällen, aber auch durch Handlaminieren oder das Resin-Transfer-Moulding (RTM) hergestellt. Bei allen genannten Verfahren kommen duroplastische Kunststoffe – fast ausschließlich Epoxidharz – als Matrixwerkstoffe zum Einsatz. Als Innenbeschichtung werden bei allen Verfahren ebenfalls duroplastische Gelcoat-Materialien verwendet. Bei Epoxidharzen handelt es sich um Gefahrstoffe. Bei deren Verarbeitung kommen weitere umweltrelevante Lösungsmittel wie Aceton zum Einsatz. Außerdem ist die Aushärtung von Epoxidharzen in Öfen oder Autoklaven energieintensiv und unflexibel.

Das automatisierte Fiber Placement (AFP) hat in den letzten Jahren deutlich an technologischer Reife in Bezug auf Prozessstabilität und Anlagenprogrammierung gewonnen. Außerdem haben verschiedene Hersteller eine Vielzahl qualitativ hochwertiger Halbzeuge (Tapes) mit unterschiedlichen thermoplastischen Matrizen entwickelt, so dass diese nun auch für nicht Strukturbauteile wirtschaftlich von Bedeutung sind.

Die Herstellung von Frischwassertanks aus thermoplastischen Materialien birgt das Potential einer Reduktion von gesundheitsschädlichen Stoffen in der Fertigung. Der Einsatz der AFP-Technologie erhöht die Flexibilität in der Fertigung und ermöglicht neue Bauweisen.

Kosteneffiziente additive Metallfertigung

Additive Fertigungsmethoden im Metallbereich ergänzen zunehmend konventionelle Herstellverfahren. Dabei hat das Selektive Laserstrahlschmelzen im Pulverbett (SLM-Verfahren) bereits einen industriellen Standard erreicht. In den letzten 5 Jahren hat sich die Anlagentechnik erheblich verbessert und das Angebot an verfügbaren Materialien erweitert. Mehrfach-Laser-Systeme führen heute zu einer erhöhten Produktivität. Die Qualität des Bauprozesses wird in modernen Anlagen in situ durch verschiedene Sensoren überwacht und die Belichtung mittels thermisch-optischer Verfahren dokumentiert. Aufgrund dieser Fortschritte besteht die Erwartung, dass bei der Herstellung komplexer Bauteile Gewichts- und Kostenvorteile, sowie reduzierte Montageaufwände gegenüber zerspanenden, werkzeugintensiven Fertigungsverfahren erzielbar sind.

Intelligente Lavatory- und Frischwassersystemkomponenten

Derzeit wird die Wasserversorgung der Lavatories mit Einzelkomponenten, die teilweise zugekauft werden und mit zahlreichen elektrischen und wasserführenden Verbindungselementen integriert werden müssen, sichergestellt. Dadurch ist der Zeit- und Kostenaufwand für die Integration sehr hoch.

Eine zentrale Überwachung des Gerätezustandes und eine vorausschauende Wartung der Wassersystemkomponenten sind derzeit nicht möglich. Hygienische Aspekte der Trinkwasserversorgung werden nur vereinzelt bei der Auslegung der Geräte wie z.B. dem berührungslosen Wasserhahn berücksichtigt. Kompakte UV-LED Desinfektionseinheiten, deren Einsatz im Frischwassersystem zur Reduktion der mikrobiologischen Kontamination denkbar ist, werden aktuell in Passagierflugzeugen nicht verwendet.

Weiterhin stellen nach wie vor die hohen Anforderungen an die Langzeitstabilität und Genauigkeit von Füllstandssensoren eine technische Herausforderung im Wassersystem eines Flugzeuges dar. Die Leistungsfähigkeit der verwendeten kapazitiven, kontinuierlichen und diskreten Sensoren sind in dieser Hinsicht nicht zufriedenstellend.

Die zunehmende Forderung nach unbedenklichem und sicherem Trinkwasser in Passagierflugzeugen sowie steigende Wartungskosten der Airlines für die turnusmäßige Desinfektion der Wassersysteme führten dazu, dass zentrale Desinfektionseinheiten entwickelt wurden und aktuell in den modernsten Flugzeugen wie A350 und B787 zum Einsatz kommen. Diese erfordern jedoch schwerwiegende Modifikationen der Systemarchitektur und sind deswegen nicht nachrüstbar. Wasserfilter werden nur in den Bordküchen eingesetzt, um vornehmlich Chlor und andere gelöste Wasserinhaltsstoffe mit dem Ziel den Geschmack des Wassers und die Eignung zur Tee- und Kaffeezubereitung zu verbessern, nicht aber, um gesundheitsrelevante Keime zu entfernen.

Druckgeregeltes Vakuum-Toiletten-System

Moderne Passagierflugzeuge verfügen über ein Vakuum-Toiletten-System. Der Abtransport von Toiletteninhalten erfolgt in diesen Systemen durch eine Druckdifferenz zwischen Kabine und Abwassertank. Am Boden und auf sehr geringen Flughöhen wird diese Druckdifferenz durch einen Vakuumgenerator erzeugt, der Luft aus dem Abwassertank zieht. Auf Reiseflughöhe wird die vorhandene Druckdifferenz zwischen Kabine und Atmosphäre für den Betrieb des Vakuum-Toiletten-Systems genutzt. Der Druck im Abwassertank und damit die anliegende Druckdifferenz im System ist somit von der Reiseflughöhe abhängig. Dies erschwert eine geräuschoptimierte Auslegung der Toilettenschüssel bzw. deren Verrohrung. Ein konstanter, regelbarer Unterdruck im Vakuum-Toiletten-System ist somit sowohl hinsichtlich Passagierkomfort als auch hinsichtlich Zuverlässigkeit und Effizienz des Abwassersystems erstrebenswert.

Airtaxi ARU

Zu Beginn des Vorhabens befanden sich viele Flugtaxi oder eVTOL Projekte erst ganz am Anfang der Entwicklung, wobei die Konzepte der einzelnen Hersteller deutlich variierten. Es existierte noch kein öffentlich zugänglicher Stand der Technik.

Notsauerstoffsysteme

In Passagierflugzeugen erfolgt die Notsauerstoff-Versorgung für den Fall des Druckabfalls in der Kabine in der Regel durch Chlorat-Kerzen. Diese sind aufgrund der hohen Reaktionstemperaturen von bis zu 700°C aufwendig zu isolieren und zu integrieren. In einigen Fällen wird der Sauerstoff auch in Druckflaschen mitgeführt und über ein Rohrsystem verteilt. Aufgrund der leichten Entzündlichkeit von Sauerstoff birgt der Transport der Druckflaschen grundlegende Sicherheitsrisiken. Weiterhin stellt die aufwändige Verrohrung über das ganze Flugzeug einen erheblichen, zusätzlichen technischen Aufwand dar.

Die katalytische Sauerstofferzeugung stellt hingegen einen grundsätzlich neuen Systemansatz dar, welcher frei von diesen Risiken und Aufwänden ist.

4.2 Bisherige Arbeiten

Wartungsprognose Wasser-/Luftsystem

Die Grundlagen für die Wartungsprognosen sind Daten und Messwerte. Die Daten aus der Produktion und den Geräte-Abnahmetests (Acceptance Test Procedure, ATP) zusammen mit den Daten des Customer-Service über Beanstandungen und Fehler der zurückgesendeten Geräte bilden eine Grundlage für eine Vorhersage einer notwendigen Wartungsmaßnahme. Im Rahmen des LuFo V-3 Projektes DEPOT wurde bereits an der Vernetzung der Prüfstände gearbeitet und eine Diehl Data-Analytics Plattform befand sich zu Projektbeginn im Aufbau. Dies bildete den Ausgangspunkt für die „Datenanalyse Wasser-/Luftsystemkomponenten“.

Zur druckbasierten Erkennung einer Rohrverstopfung wurden erste Messungen an einem stark vereinfachten System durchgeführt, in dem die prinzipielle Eignung des Messprinzips gezeigt wurde. Diese Technologie wurde im Patent DE102017005626B4 geschützt.

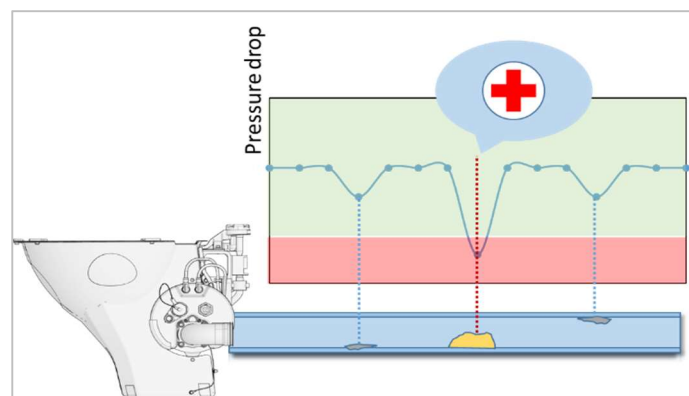


Abbildung 4-1 Druckverlust im Vakuum-Toiletten-System

Thermoplastischer Wassertank

Im Rahmen des LuFo V-1 Projektes SYLVIA wurden durch die DAG erstmals thermoplastische Bauweisen und Herstellprozesse für Wassertanks untersucht. Abbildung 4-2 zeigt exemplarisch einen thermoplastischen Liner und konzeptionell die Verstärkung im AFP Verfahren.



a) Liner aus dem LuFo 5 Projekt SYLVIA



b) Illustration der Faserverstärkung durch thermoplastisches Tapelegen

Abbildung 4-2 Konzept des thermoplastischen Wassertanks

Aufbauend auf den Ergebnissen des Vorhabens SYLVIA und den gewonnenen Erfahrungen sowohl in der Linerherstellung als auch mit der AFP Technologie wurde das Konzept des integralen thermoplastischen Wassertanks im Rahmen von EFFEKT weiterentwickelt.

Kosteneffiziente additive Metallfertigung

In der Entwicklungsphase werden bereits seit vielen Jahren Bauteile für Prototypen im Sinterverfahren beschafft. Zunehmend werden Bauteile für Funktionsmuster aus Kunststoff im Selektiven Lasersinter- (SLS-) Verfahren und aus Metall im Selektiven Laserschmelz- (SLM-) Verfahren von Dienstleistern bezogen. Im Rahmen des LuFo V-2 Vorhabens VERONIKA wurde die Prozesskette für den Metall-3D-Druck analysiert. Auf Basis einer Methodik zum Bauweisenentscheid wurden Bauteile ausgewählt und Optimierungsziele wie Bauteilintegration und Materialwechsel von Metall auf Kunststoff umgesetzt. Zudem wurden rotierende Lüfterbauteile sowohl aus faserverstärktem Kunststoff als auch Metall gedruckt und bewertet. Ein wesentliches Fazit war, dass die Vorteile der additiven Fertigungsverfahren (AM) für Serienteile meist nur in Verbindung mit Neuentwicklungen unter konsequenter Umsetzung eines AM-gerechten Designs zu erzielen sind.

Intelligente Lavatory und Frischwassersystemkomponenten

DAG hat in den letzten Jahren an allen Luftfahrtforschungsprogrammen (LuFo) teilgenommen und dabei systematisch Erkenntnisse und Kompetenzen bei der Entwicklung innovativer Wassersystemkomponenten und Geräte zur Wasserversorgung der Lavatory-Waschbecken ausgebaut. DAG stellt die UV-Desinfektionseinheit für den A350 XWB her. Dies ist die erste UV-Einheit an Bord eines Passagierflugzeugs, die das Wasser kontinuierlich während des Fluges desinfiziert. Die Grundlagen für die Entwicklung der UV-Desinfektionseinheit im A350 XWB wurden im Rahmen der Luftfahrtforschungsprogramme LuFo IV-1 (INBAKA) und LuFo IV-2 (SIMKAB) erarbeitet.

Im Rahmen von LuFo V-2 wurde eine UV-LED Desinfektionseinheit für die Installation vor der Entnahmestelle entwickelt.

Im Rahmen von LuFo IV-4 DIANA wurde ein Wasserheizer mit Kunststoffgehäuse und beschichteten Heizelementen entwickelt, der aufgrund der geringen Kalksteinbildung eine hohe Lebensdauer erreicht.

Die Füllstandsmessung der Wassertanks war ein immer wiederkehrendes Thema der DAG in den vorausgegangenen Luftfahrtforschungsprogrammen. Innerhalb des LuFo IV-4 Verbundvorhabens DIANA wurden alternative Messmethoden zu kapazitiven Sensoren untersucht. Dazu gehörten u.a. auch die Ultraschall-, Radar- und Druckdifferenzmessung. Dabei erwies sich die Radarmessung zwar als zuverlässig, die damals realisierbaren Sensoren waren jedoch zu groß, um in den engen verfügbaren Bauraum, insbesondere mit niedriger Höhe, integrierbar zu sein.

Druckgeregeltes Vakuum-Toiletten-System

In einem früheren Serienentwicklungsprojekt wurde die Entwicklung eines Vakuum-Kontroll-Ventils betrachtet. Mit dem damaligen Konzept konnten nicht alle gestellten Anforderungen z.B. in Hinblick auf die Zuverlässigkeit erfüllt werden. Aufbauend auf den Erkenntnissen des damaligen Projektes sollte im Rahmen von EFFEKT ein neues Konzept mit den Hauptgesichtspunkten Zuverlässigkeit des Gesamtsystems und maximaler Geräuschreduktion entwickelt werden.

Galley Luftkühlsysteme

Im LuFo V-3 Verbund KOMKAB wurden die Grundlagen für eine Air Refrigeration Unit (ARU) mit lokaler Kälteerzeugung für Galleys mit bis zu 6 Trolleys entwickelt. Diese wurde dann in einem weiteren Projekt für den Einsatz bei Airbus und Boeing industrialisiert. Diese ARUs bilden die Basis für das vorliegende Verbundvorhaben EFFEKT.

Notsauerstoffsysteme

Grundlegende Untersuchungen zur katalytischen Sauerstofferzeugung wurden in einem früheren externen Vorprojekt durchgeführt. Dabei zeigte sich das Potential der katalytischen Sauerstofferzeugung für zukünftige Anwendungen in Passagierflugzeugen. Die in dem Vorprojekt geschaffenen Intellectual Properties und Patente wurden von der DAG gekauft.

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Arbeitspaket 2.1: Flexible und autonome Herstellprozesse

In AP 2.1 wurde intensiv zwischen DAG, DAL und Unterauftragnehmer TU München für den neuartigen Tank zusammengearbeitet. Die DAL hat dabei den formgebenden Liner hergestellt und die TU München die Tapelege Arbeiten an einer vorhandenen AFP-Anlage des Instituts durchgeführt.

Arbeitspaket 3.1 „Cabin Experience System NG“

Die Arbeit im Teilarbeitspaket 3.1.1 „Intelligente Lavatory“ erfolgte in enger Zusammenarbeit mit der DAH. Dabei konnte im Rahmen der Zusammenarbeit auf die Arbeiten des LuFo Verbundprojektes MICHEL aufgebaut werden. Diehl Aviation Hamburg erarbeitet dort innerhalb des AP2.2 „Prozessoptimierte Monumente, Wartungs- und Nachrüstkonzepte“ ein Labormuster, das die grundsätzliche Funktion der automatisierten Tür- und Schlossaktuatorik aufweist. Der dort entstandene Laboraufbau bildete die Basis für die weiteren Forschungs- und Entwicklungsarbeiten der Diehl Aviation Gilching im Rahmen von EFFEKT, die zusammen mit der DAH durchgeführt wurden.

Arbeitspaket 3.2 „Wassersystemkomponenten“

Die Zusammenarbeit mit dem Unterauftragnehmer Sondev zur Entwicklung des Radarsensors wurde erfolgreich durchgeführt. Dabei hat die Sondev mehrere Studien zum Radarsensor durchgeführt und den Abschließenden Demonstrator des Radarsensors aufgebaut.

Mit dem Partner DAH wurde zusammengearbeitet, um das raumsparende Komponenten-Konzept unter dem Waschtisch in der Lavatory zu erarbeiten und deren Vorteile herauszuarbeiten.

Die Firma Groth war Unterauftragnehmer bei der Entwicklung des berührungslosen Wasserhahns.

Des Weiteren wurde mit dem Projektpartner Aquafree an der Entwicklung des Frischwasser-Einlassfilters gearbeitet.

Arbeitspaket 3.3 „Galley Luftkühlsysteme“

Im Arbeitspaket 3.3 „Galley Luftkühlsysteme“ wurde intensiv zwischen den Unternehmenseinheiten Diehl Aviation Gilching, Diehl Aviation Hamburg und Diehl Aviation Laupheim sowie mit dem Partner DLR zusammengearbeitet. Der Partner DLR führte Untersuchungen zur aktiven Geräuschunterdrückung der ARU durch. Bei DAL erfolgten Akustik Messungen an der ARU bzw. an Galleys, in die eine ARU integriert wurde. Mit DAH wurde scherpunktmäßig auf dem Gebiet der optimierten Luftführung kooperiert.

Arbeitspaket 3.4 „Katalytische Notsauerstofferzeugung“

Im Arbeitspaket 3.4 „Katalytische Notsauerstofferzeugung“ wurde intensiv mit dem Unterauftragnehmer Julius-Maximilians-Universität Würzburg zusammengearbeitet, die die chemische Grundlagen Entwicklung durchgeführt hat.

6 Eingehende Technische Darstellung der Projektergebnisse

6.1 Hauptarbeitspaket 1: Digitaler Lebenszyklus

Im Hauptarbeitspaket 1: Digitaler Lebenszyklus war die DAG am Arbeitspaket 1.3: Digitale After Sales & Services mit dem Teilarbeitspaket 1.3.1: Wartungsprognose Wasser-/Luftsystem beteiligt.

6.1.1 Arbeitspaket 1.3: Digitale After Sales & Services

Teilarbeitspaket 1.3.1: Wartungsprognose Wasser-/Luftsystem

Das Teilarbeitspaket 1.3.1: Wartungsprognose Wasser-/Luftsystem setzt sich aus den UAP 1.3.1.1: Datenanalyse Wasser-/Luftsystemkomponenten, UAP 1.3.1.2: Wartungsprognose Wasser-/Luftsystemkomponenten und UAP 1.3.1.3: Wartungsprognose für Verstopfung des Abwasserrohrsystem zusammen.

UAP 1.3.1.1: Datenanalyse Wasser-/Luftsystemkomponenten

Zur Vorbereitung des Einsatzes von Data Analytics für die Wartungsprognose von Geräten wurde eine Data Analytics Applikation zur Darstellung, Verknüpfung und Auswertung großer Datenmengen aufgebaut. Dafür wurden verschiedene Dashboards in der kommerziell verfügbaren Plattform SPLUNK implementiert. Abbildung 6-1 zeigt das Dashboard in einem ersten Entwicklungsstadium.

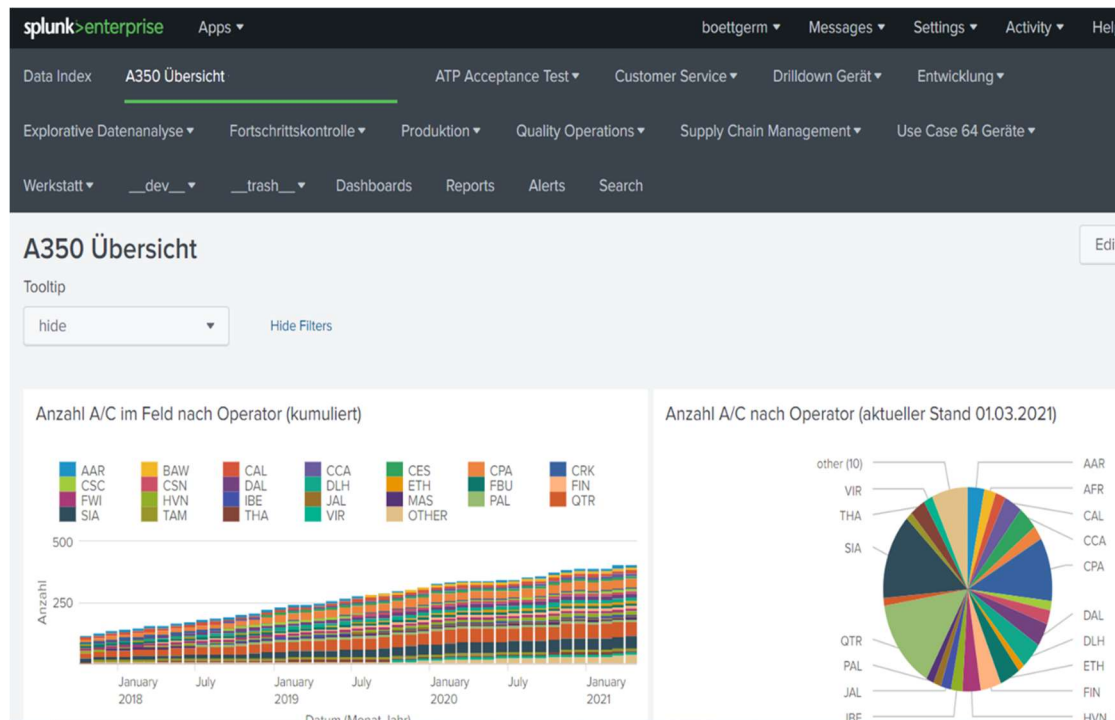


Abbildung 6-1 SPLUNK Data Analytics Applikation zur Darstellung, Verknüpfung und Auswertung der Gerätedaten

Das Vorliegen der vorhandenen Gerätedaten in verschiedenen Datenformaten stellte eine Herausforderung für die Verarbeitung dar. Einpflegen, Übereinanderlegen und Abgleich der verschiedenen Daten war z.T. problematisch und mit hohen manuellen Aufwänden verbunden. Zum Beispiel wurden verschiedene Signale mit unterschiedlichen Abtastraten aufgezeichnet, sodass ein direkter Vergleich erschwert wurde. Hieraus resultierte ein erhöhter Aufwand bei der Konvertierung und der Fehlerbehebung vor der Datenanalyse. Eine erste exemplarische Auswertung verschiedener Geräteparameter ist in Abbildung 6-2 dargestellt. Im dargestellten Zeitraum konnten keine Unregelmäßigkeiten oder Systemausfälle identifiziert werden.

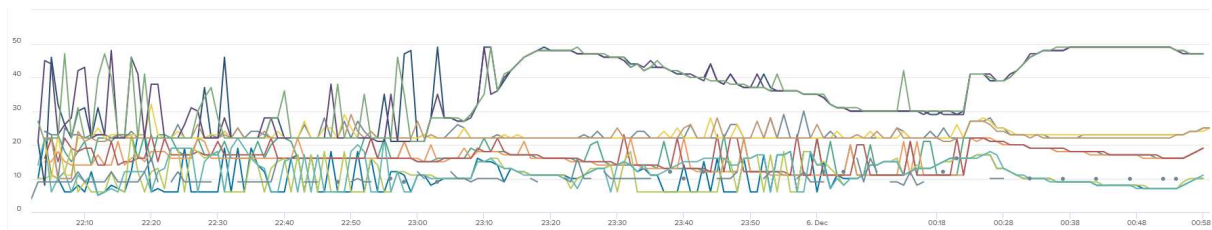


Abbildung 6-2 Darstellung von Gerätedaten im zeitlichen Verlauf in Data Analytics Applikationen

Um einen Vergleich zwischen unterschiedlichen Datensätzen zu ermöglichen, und um manuelle Pre-Processing Aufwände zu reduzieren, wurde eine effiziente Datenstruktur erstellt und verschiedene Datenquellen eingebunden. Diese Einbindung wurde derart optimiert, dass die weitere Verarbeitung der Daten vereinfacht wird. Außerdem wurden verschiedene Daten-Dashboards mit unterschiedlichen Zielen erstellt, welche einen Beitrag zur Wartungsprognose leisten können:

- Frühzeitige Fehlererkennung: Reduktion von Modifizierungskosten durch eine Mustererkennung
- Acceptance Test Procedure (ATP): Identifikation von Anomalien in der Qualitätssicherung durch Qualitätsverbesserungen
- Reparaturen: Identifikationen von Anomalien bei Gerätereparaturen zur Optimierung von Vorlaufzeiten
- Fehlerspeicher: Analyse von Log-Dateien zur Identifikation von Missbrauch und Reduktion von Komponentenfehlern

Diese Dashboards ermöglichen eine übersichtliche Darstellung der Daten und eine vereinfachte Auswertung von auftretenden Fehlern, Ausfall-/Fehlerursachen, Reparaturmaßnahmen, Reparaturhäufigkeiten und den damit verbundenen Kosten. Ein exemplarisch optimiertes Dashboard ist in Abbildung 6-3 dargestellt.

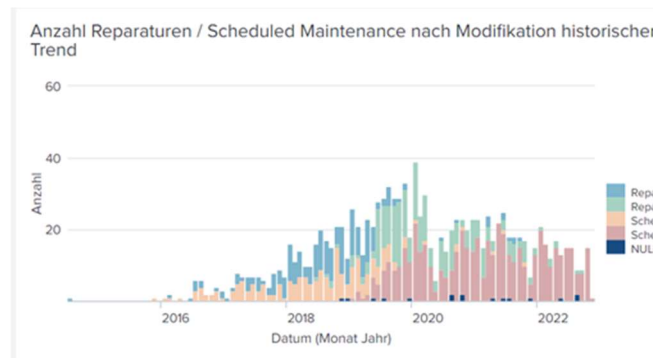


Abbildung 6-3 Dashboards zu Reparaturen und Fehlerursachen in SPLUNK

UAP 1.3.1.2: Wartungsprognose Wasser-/Luftsystemkomponenten

Im Bereich der Wartungsprognose wurde im Rahmen von EFFEKT an der Ausfallvorhersage für Wasserpumpen gearbeitet.

Zunächst wurde eine Vielzahl von Test-, Wartungs- und Reparaturdaten gesichtet mit dem Ziel, die häufigste Ausfallursache festzustellen. Dabei konnten als häufigste Ausfallursache Lager-schäden identifiziert werden. Basierend auf dieser Erkenntnis wurden bestehende CAN-Log Pumpendaten aus vergangenen Endurance Tests herangezogen und auf Ausfälle durch Lager-schäden geprüft. Nach einer ausführlichen Analyse der Daten wurden die Parameter elektrische Aufnahmeleistung, Standardabweichung der Drehzahl, mittlere Motortemperatur und maximale Temperatur als Basisparameter für einen möglichen Algorithmus zur Wartungsprognose betrachtet. Der zeitliche Verlauf dieser Parameter ist exemplarisch in Abbildung 6-4 dargestellt.

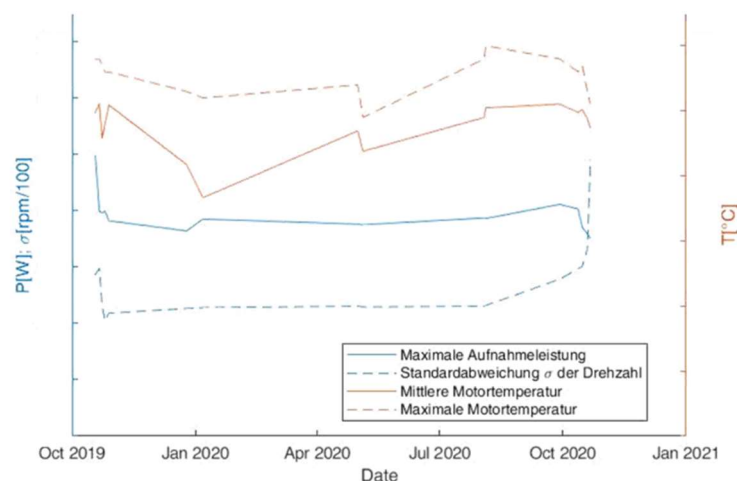


Abbildung 6-4 Zeitlicher Verlauf von Leistung und Temperatur im Endurance Test einer Wasserpumpe. Es lassen sich mehrere Phasen erkennen: das Einlaufen des Lagers in den ersten Wochen, der darauffolgende Tiefpunkt und der Hochpunkt wenige Wochen vor dem Ausfall. Lediglich die Drehzahlabweichung bleibt in den letzten Monaten stetig steigend. Bei diesem Schadensbild ist der Hochpunkt ein möglicher Indikator für einen Ausfall. In der Praxis wird diese U-Kurve jedoch nicht so deutlich dargestellt werden können, da weitere Umgebungsparameter des Systems einen zu

großen Einfluss nehmen. Daher wurden weitere Parameter identifiziert, mit denen Lagerausfälle vorzeitig analysiert werden können:

- Wärmeausbreitung durch erhöhte Reibung im Lager, Achse oder Laufrad
- Vibrationen, die ausgehend vom Lager in die hydraulische oder elektronische Pumpenstufe übertragen werden
- Schallwellen, die vom Lager ausgehend abgestrahlt werden

Eine Bewertung dieser Parameter zeigte, dass eine Vibrations- und Temperaturmessung in der Laufradachse die besten Chancen für ein zuverlässiges PHM-System in der Praxis darstellen können. Eine Messung dieser Daten wurde implementiert (vgl. Abbildung 6-5 und Abbildung 6-6). Durch diese Implementierung ließ sich direkt eine Bewertung der beiden Optionen vornehmen. Da die Temperaturmessung in der Laufradachse mit einem hohen Integrationsaufwand verbunden ist, wurde die Vibrationsmessung als präferierte Lösung ausgewählt. Diese lässt sich in Zukunft über geeignete On-Chip-Sensoren direkt auf der Platine des Gerätes implementieren. Allerdings sind komplexe mathematische Auswertungen erforderlich.

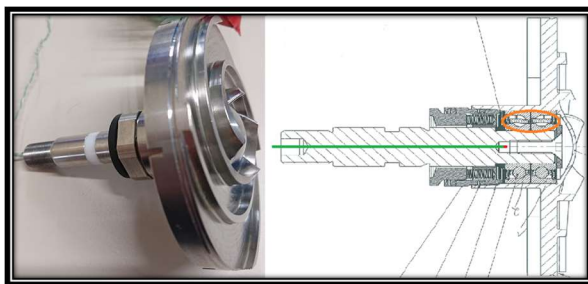


Abbildung 6-5 Temperaturmessungen in der Laufradachse



Abbildung 6-6 Messungen mit Laservibrometer

Zur direkten Datenerfassung wurden geeignete On-Chip-Sensoren ausgewählt. Kriterien hierbei waren eine spätere Nutzbarkeit der Sensoren auf der Geräteplatine, sowie geringe Kosten zur Erzielung eines positiven Business-Cases. Zur Auswertung wurde ein Einplatinencomputer Raspberry Pi ausgewählt. Im Anschluss erfolgte der Aufbau des Mess-/Auswertesystems zur Vibrationserfassung. Dieses ist schematisch in Abbildung 6-7 dargestellt, der reale Messaufbau wird in Abbildung 6-8 gezeigt.

Die Auswertesoftware wurde in C# implementiert. Die Software umfasst die Steuerung der Messung, das Auslesen der Sensordaten und die Berechnung sowie Anzeige der Daten. Frequenzpeaks im Signal lassen sich durch Transponieren mittels Fast-Fourier-Transformation (FFT) darstellen.

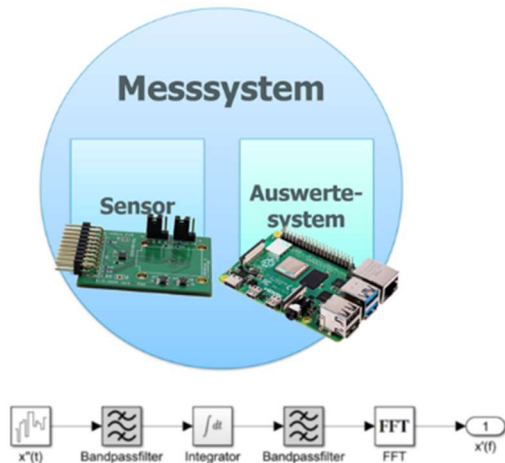


Abbildung 6-7 Messsystem zur Vibrationserfassung

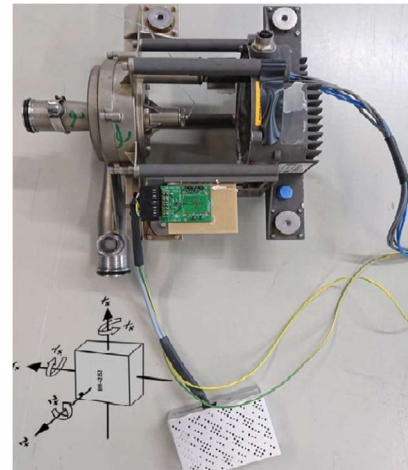


Abbildung 6-8 Vibrationserfassung mit Beschleunigungssensor auf Pumpenplatte

Abschließend wurden mit dem aufgebauten Setup Langzeitversuche durchgeführt, bei denen ein Ausfall der Pumpe während der Messungen erfolgen sollte. Dafür musste die Lebensdauer der Lager erheblich reduziert werden, was mittels unterschiedlichen Lagervorspannungen realisiert wurde. Die Resultate einer Wasserpumpe über einen gewissen Zeitraum bis zum Lagerausfall sind in Abbildung 6-9 dargestellt. Hier sind die Beschleunigungswerte und das Frequenzspektrum zu sehen. Es sind Bereiche im Frequenzspektrum erkennbar, die sich über die Zeit deutlich verändern und daher geeignet sind, eine Ausfallvorhersage treffen zu können.

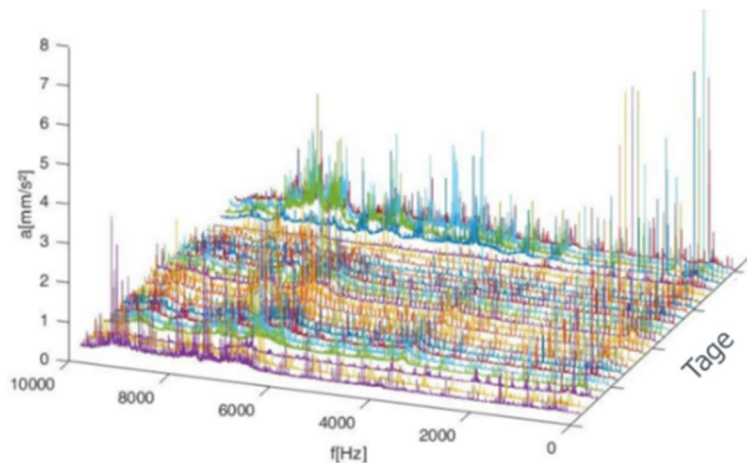


Abbildung 6-9 Wasserfalldiagramm zum Frequenzspektrum

UAP 1.3.1.3: Wartungsprognose für Verstopfung des Abwasserrohrsystem

Die Wartungsprognose zur Verstopfungserkennung basiert auf der Analyse von Druckverlaufskurven des Abwassertank-Systems. Die Verschmutzung oder Verstopfung sorgt für einen zusätzlichen Strömungswiderstand, welcher einen Einfluss auf die Druckverlaufskurve hat.

Dieses Verhalten wurde mittels Messungen experimentell nachgewiesen. Hierzu wurde der Absolute-Pressure-Sensor (APS) des Waste-Tanks (WT) eingesetzt, welcher zur diskreten Füllstandsmessung eingesetzt wird (Abbildung 6-10). Für diese Anwendung waren Software-Anpassungen notwendig, um durch eine Erhöhung der Abtastrate eine kontinuierliche Aufzeichnung des Druckes zu ermöglichen.

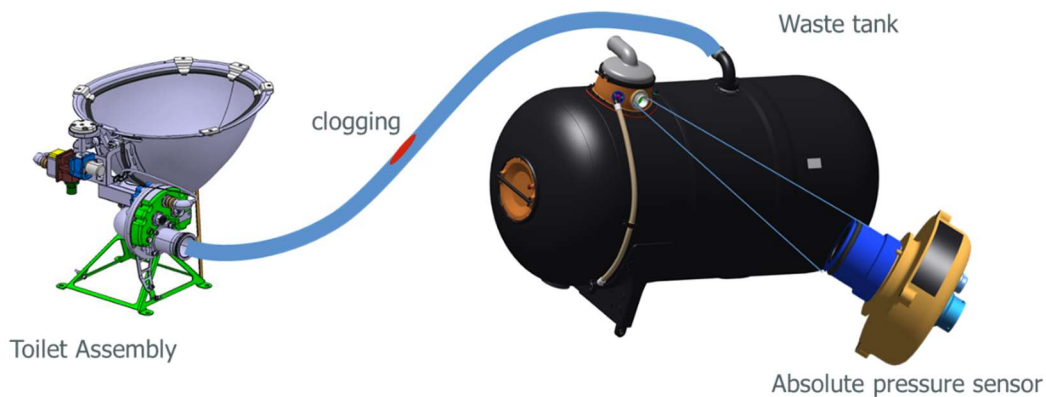


Abbildung 6-10 Schematische Darstellung des Systemaufbaus zur Erkennung von Rohrverstopfung im Toilettensystem

Für die Versuche wurde ein Prüfstand aufgebaut, welcher die zentralen Komponenten des Toilettensystems beinhaltet: Toilette, Rohrstrecke, Tank. Die Rohrstrecke wurde modular konzipiert, sodass ein Stück kurz vor dem WT mit 2m Länge austauschbar ist, da 95% der Verschmutzungen in den letzten 5m vor dem Tank detektiert werden. Damit ließen sich verschiedene Verschmutzungen ins System einbringen. Die Evakuierung des Tanks kann entweder über einen angeschlossenen Vakuum Generator (VG) oder die hausinterne Vakuumanlage realisiert werden.



Abbildung 6-11 Teststand für Versuche zur Rohrverstopfungserkennung

Zum Nachweis des theoretischen Ansatzes der Rohrverstopfungserkennung über die Druckverlaufskurve wurden verschiedene Verschmutzungen im austauschbaren Rohrstück simuliert, welche den Strömungsquerschnitt, die Oberflächenrauheit oder beides in Kombination ändern und somit reale Verschmutzungen nachbilden.

Zunächst wurden Windeln – welche auch im realen Toilettensystem häufig zu kritischen Verstopfungen führen – durch das System gespült. Hier war die zunehmende Rauheit ein größerer Einflussfaktor als ein geringerer Rohrdurchmesser.

Anschließend wurden für die kritischen Verschmutzungszustände mit erhöhter Rauheit (Strukturfarbe, Lack & Sand) die Druckverlaufskurven von Nass- und Trockenspülungen im WT gemessen (Abbildung 6-12). Sowohl bei Nass- als auch bei Trockenspülungen war die Verschmutzung in den Druckverläufen sichtbar. Damit wurde die prinzipielle Umsetzbarkeit des oben beschriebenen Ansatzes zur Verschmutzungserkennung demonstriert.

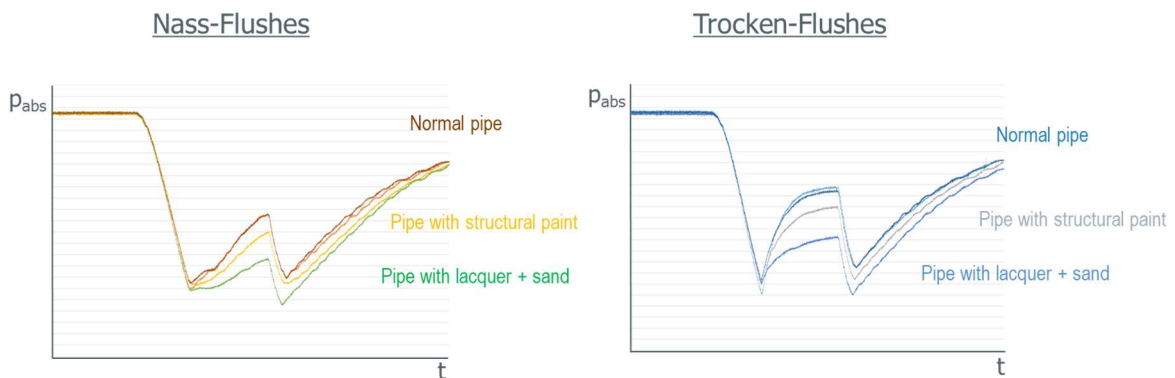


Abbildung 6-12 Druckverlaufskurven für verschiedene Verschmutzungszustände bei Nass- und Trockenspülungen im VG-Betrieb

Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurden weitere mögliche Einflussparameter identifiziert, die Einfluss auf die charakteristischen Druckverlaufskurven haben könnten.

Abbildung 6-13 zeigt exemplarische Messergebnisse einer Variation des Tankfüllstands, bei Konstanthaltung der anderen Parameter. Für diesen Fall sind die Veränderungen der Druckkurven leicht zu erkennen. Bei gleichzeitiger Variation mehrerer Parameter wird die Analyse komplexer. Dies ist in Abbildung 6-14 zu erkennen: hier wurde gleichzeitig die Wassermenge des Flushes sowie der Verschmutzungsgrad variiert.

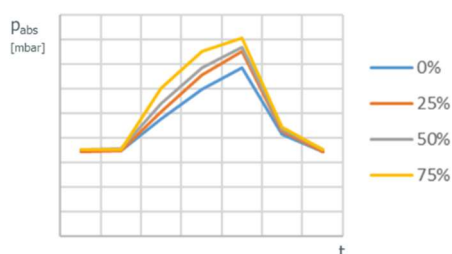


Abbildung 6-13 Einfluss des Tankfüllstands

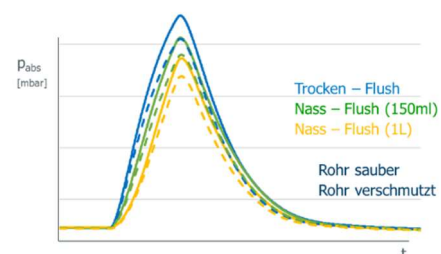


Abbildung 6-14 Einfluss der Wassermenge des Flushes sowie einer Rohrverschmutzung

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die verschiedenen Parameter unterschiedliche Einflüsse auf die Kurven haben können, aber auch recht ähnliche Auswirkungen. Die Kombination der Parameter macht die Analyse der Auswirkungen komplexer, da die Auswirkungen bei

Variation eines Parameters in Kombination mit anderen Parametern unterschiedlich sein können. Auf diesen Erkenntnissen aufbauend, wurden die wichtigsten Einflussgrößen auf die Druckverläufe bestimmt und Kurvenstützpunkte abgeleitet, welche die Kurvenformen charakterisieren. Durch einen Vergleich der Kurvenstützpunkte bei verschiedenen Tests konnte die Eignung zur Charakterisierung der Messkurven validiert werden. Im Anschluss wurden die Berechnungsalgorithmen für die Parameter innerhalb der Software des APS umgesetzt. Hiermit konnte die Reduktion der Druckverläufe auf wenige Parameter, welche auf den CAN-Bus gesendet werden, erfolgen. Die Softwareänderung wurde umfangreich am Prüfstand getestet. Es folgten weitere Verifikationstests in einem großen Testrig, welches das komplette Abwassersystem eines Flugzeugs inkl. aller Toiletten, Rohrabchnitte, Ventile und Tanks umfasst. Diese Umsetzung legte den Grundstein für die Wartungsprognose zur frühzeitigen Erkennung von Verstopfungen im Abwasserrohrsystem.

Gleichzeitig zeigte sich im Rahmen des Projektes, dass aufgrund der Komplexität des Zusammenwirkens der Parameter und Einflussfaktoren im Abwassersystem ein rein analytisches Vorhersagemodell für die Wartungsprognose nicht ausreichend sein wird. Daher ist eine über das Projekt hinausgehende In-Service Evaluation geplant, um Flugdaten für den späteren Aufbau eines Vorhersagemodells mittels Big Data und Machine-Learning zu sammeln. Dafür ist allerdings zunächst eine Zulassung der Softwareänderung des APS notwendig. Eine Realisierung der In-Service-Evaluation war daher nicht in der Projektlaufzeit möglich, wird aber im Anschluss an das Projekt weiterverfolgt.

6.2 Hauptarbeitspaket 2: Kosteneffiziente Produktion und Materialien

Im Hauptarbeitspaket 2: Kosteneffiziente Produktion und Materialien war die DAG nur am Arbeitspaket 2.1: Flexible und autonome Herstellprozesse beteiligt.

6.2.1 Arbeitspaket 2.1: Flexible und autonome Herstellprozesse

Das Arbeitspaket 2.1: Flexible und autonome Herstellprozesse setzt sich für die DAG aus dem Teilarbeitspaket 2.1.1: Thermoplastischer Wassertank und dem Teilarbeitspaket 2.1.3: Kosteneffiziente additive Metallfertigung zusammen.

Teilarbeitspaket 2.1.1: Thermoplastischer Wassertank

Im Rahmen des Teilarbeitspaket 2.1.1: Thermoplastischer Wassertank wurde eine neuartige Bauweise für Luftfahrt Frischwassertanks basierend auf faserverstärkten, thermoplastischen Kunststoffen erarbeitet und umgesetzt. Das übergeordnete Konzept sieht dabei eine innere Schicht, den sogenannten Liner vor, der die Dichtigkeit und Trinkwassereignung des Tanks sicherstellt. Gleichzeitig dient er als formgebendes Fertigungshilfsmittel und ersetzt damit einen Wickelkern. Zur Erfüllung der mechanischen Anforderungen z.B. in Bezug auf Innendruck wird

der Liner mit weiteren Schichten aus carbonfaserverstärkten, thermoplastischen Tapes verstärkt, die mit dem Liner stoffschlüssig verbunden werden. Das Aufbringen der Faserverstärkung erfolgt mittels lasergestütztem Fiber Placement.

Die Linerherstellung erfolgte im Verbundvorhaben durch die Diehl Aviation Laupheim GmbH (DAL) und wird in deren Bericht detailliert beschrieben. Das Design der Tanks sowie die Entwicklung des Fertigungsprozesses erfolgten durch die Diehl Aviation Gilching GmbH. Die Umsetzung des lasergestützten Fiber Placements erfolgte im Unterauftrag an der Technischen Universität München.

Bei DAG wurde das Konzept für den Tapelegeprozess für die Verstärkung dünnwandiger Liner entwickelt. Die beiden Hauptherausforderungen dabei sind zum einen die Stabilisierung des Liners gegenüber der Krafteinwirkung des Tapelegekopfes und zum anderen die thermische Stabilisierung, um eine Beschädigung des Liners durch die hohe Energiedichte des Lasers zu vermeiden. Abbildung 6-15 zeigt als Lösungsansatz das Konzept eines dünnwandigen Liners, der durch ein inkompressibles Fluid stabilisiert wird. Neben der mechanisch stabilisierenden Wirkung ist ein inkompressibles Fluid, wie Wasser, aufgrund seiner hohen Wärmekapazität auch geeignet, den Tapelegeprozess thermisch zu stabilisieren. So wird die Linertemperatur auf der Innenseite durch den Energieeintrag des Lasers begrenzt. Der Liner behält eine Mindestwandstärke, die unter der Erweichungstemperatur bleibt. So kann ein Durchbrennen des Liners verhindert werden.

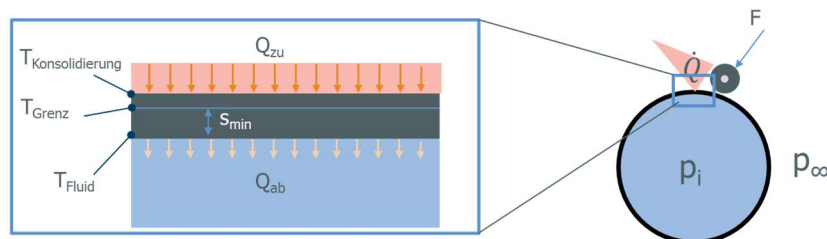


Abbildung 6-15 Wärmeeintrag in den Liner während des Tapelegens

In enger Zusammenarbeit zwischen DAG und DAL wurden auf Basis der von DAG erstellten Tankspezifikation, Konzepte für einen dünnwandigen, effizienten Liner erarbeitet. Es wurden Literaturrecherchen durchgeführt sowie Lösungsansätze generiert und bewertet. Die präferierten Konzepte wurden in Fertigungsversuchen validiert.

Die Basis für das bevorzugte Linerkonzept bilden thermoplastische Halbschalen, die effizient und kostengünstig in einem Tiefzieh- oder Thermoformprozess aus flächigen Halbzeugen hergestellt werden können. Die geformten Halbschalen können dann zu einem vollständigen Tankkörper gefügt werden.

Abbildung 6-16 zeigt das CAD Modell der Halbschalen und eine PC Halbschale, die auf einer Laupheimer Fertigungsanlagen im Tiefziehverfahren hergestellt wurde.

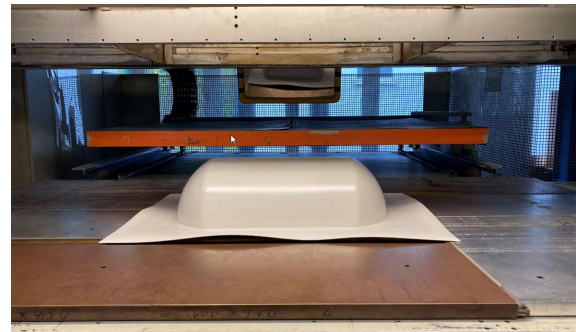
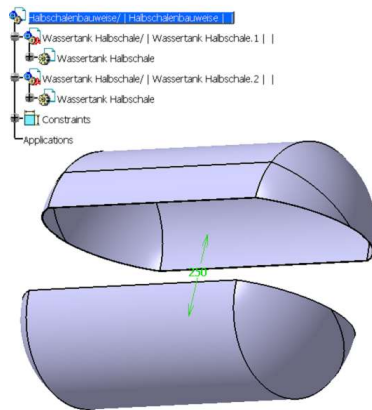


Abbildung 6-16 Konzept Linerherstellung: Herstellung von Halbschalen

Für die Herstellung der geschlossenen Liner aus den Halbschalen wurden verschiedene Fügeverfahren und Bauweisen untersucht. Für Details wird auf den Bericht der DAL verwiesen. Abbildung 6-17 zeigt exemplarisch eine Klebverbindung, die als Überlappstoß ausgeführt wurde. Zur Befüllung und Entleerung des Tanks wurden konturnahe Flansche konstruiert und gefertigt.



Abbildung 6-17 Konzeptvariante: Fügen der Halbschalen zu geschlossenem Liner

Die dargestellte Fertigung eines geschlossenen Liners, der anschließend mit Fasern verstärkt wird, reduziert die Anzahl der Fertigungsschritte und ermöglicht eine frühe Prüfung der Medientichtigkeit des Liners in der Wertschöpfungskette.

Abbildung 6-18 zeigt exemplarisch das Prinzip des lasergestützten Tapelegens. Der Tapelegekopf bevorratet das endlosfaserverstärkte Tape auf einer Spule. Dieses wird durch eine Vorschubeinheit zur Kompaktierungsrolle geführt. Die Laseroptik erzeugt einen Brennfleck unterhalb der Kompaktierungsrolle und führt sowohl dem einlaufenden Tape als auch der zu belegenden Fläche Energie zu. Beide Fügepartner werden so aufgeschmolzen und durch die Kompaktierungsrolle miteinander verschweißt. Der Legekopf wird durch einen Industrieroboter relativ zur Bauteilgeometrie positioniert. Der Bahnverlauf der Tapes ergibt sich somit aus der Positionierung des Roboters relativ zum Bauteil.

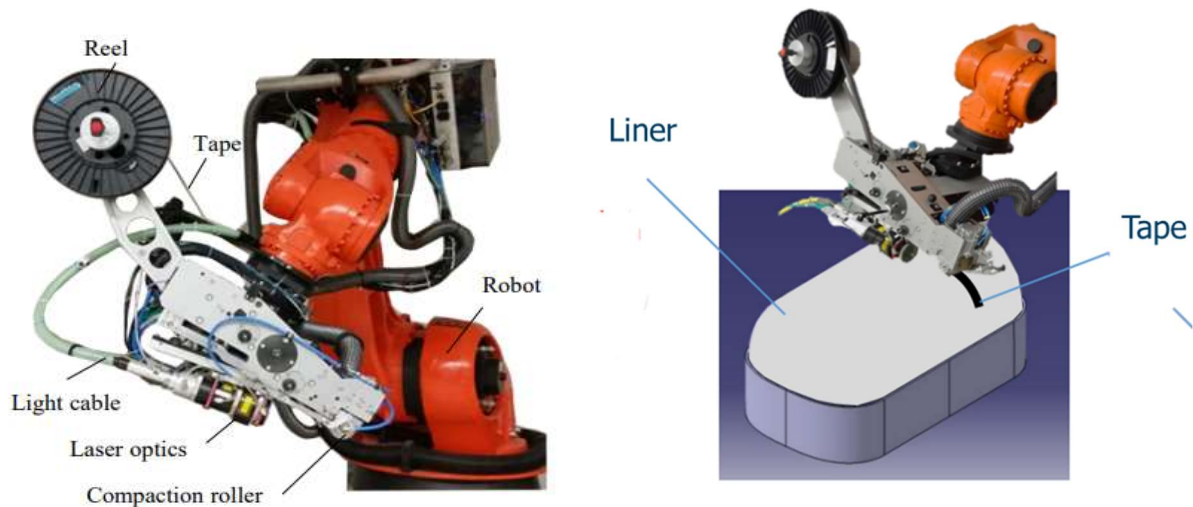
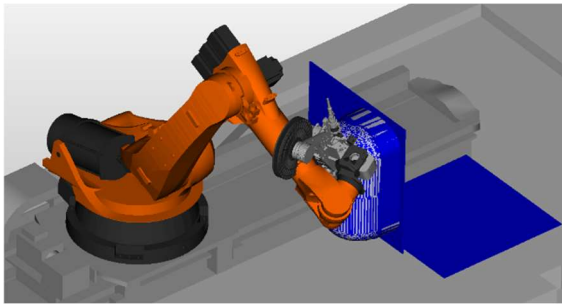


Abbildung 6-18 Verstärkung von Halbschalen vor dem Fügen

Für den Tapelegprozess wurde zunächst ein Materialscreening durchgeführt. Hierfür wurden Tapelegeversuche auf unterschiedliche Substratplatten durchgeführt. Dabei wurden sowohl homogene Materialpaarungen als auch Mischpaarungen untersucht. Mischpaarungen würden eine Materialkombination mit hochspezialisierten Eigenschaften für den Liner und für das Tape ermöglichen. Die Kombination eines Tapes mit niedrigem Schmelzpunkt und eines Liners mit höherem Schmelzpunkt könnte zudem die Prozessstabilität während des Tapelegens auf dünnwandigen Hohlbauteile erhöhen.

Nach Versuchen auf ebenen Platten wurde mit der Bahnplanung sowie ersten Legeversuchen auf mehrfachgekrümmten Oberflächen begonnen. Abbildung 6-19 (a) zeigt die Simulation der Bahnplanung. Um die vordefinierte Lagenorientierung auf der gesamten Tankoberfläche realisieren zu können, muss eine ausreichende Zugänglichkeit der Tankoberfläche und die optimale Ausrichtung der Roboterachsen gewährleistet werden. Durch die Simulation kann für das gesamte Legeprogramm die Positionierung der Vorrichtung optimiert werden. Abbildung 6-19 (b) zeigt erste Ablegeversuche – zunächst auf Halbschalen – durch welche die Bahnplanung validiert wurde. Im Fokus stand dabei insbesondere die Verarbeitbarkeit des Tapes. Durch die Schubsteifigkeit des thermoplastischen Tapes in der Tapeebene, kann dieses nur bedingt mehrfach gekrümmten Oberflächen folgen (Steering Eigenschaften). Außerdem muss ein minimaler Legeradius eingehalten werden. Beides muss bei der Bahnplanung berücksichtigt werden. Zusätzlich wurde das Ansetzen neuer Tapebahnen untersucht. Hierbei muss die zeitliche Abstimmung aus Tapevorschub sowie Einschalten des Lasers und Zuschalten der Kompaktierungsrolle optimiert werden. Der Vorversuch konnten erfolgreich abgeschlossen werden.



(a) Simulation der Legepfade



(b) Ablegeversuche auf Halbschale

Abbildung 6-19 Voruntersuchung für das Tapelegeverfahren

Um das Gewicht des Liners möglichst gering zu halten, wird dieser möglichst dünnwandig ausgeführt. Für das Aufbringen der Tapes wird dieser daher mit Wasser stabilisiert. Das hohe Gewicht eines auf diese Weise druckstabilisierten, aber noch unverstärkten Liners, erfordert eine senkrechte Lagerung des Tanks, während klassische Wickelprozesse üblicherweise auf horizontal gelagerten Tanks durchgeführt werden. Die Vorrichtung für eine solche senkrechte Lagerung umfasst eine einstellbare Aufnahme für den Liner sowie eine Verbindung zum Achsenantrieb, der in die Robotersteuerung eingebunden ist. Eine entsprechende Vorrichtung wurde ausgelegt, konstruiert (vgl. Abbildung 6-20) und aufgebaut.

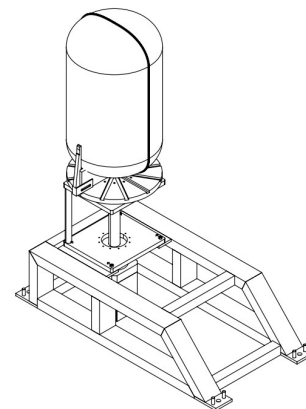
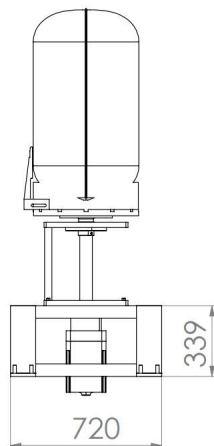


Abbildung 6-20 Vorrichtungsanpassung für die senkrechte Linerlagerung beim Tapelegeprozess.

Abbildung 6-21 zeigt die Belegung des Liners für den Prototypentank. Der Liner wurde hierfür in der Wickelvorrichtung positioniert und vollständig mit Wasser befüllt. Das Aufbringen der ersten Tapelage konnte problemlos umgesetzt werden, ohne, dass der Liner durch einen zu hohen Kompaktierungsdruck beschädigt wurde. Eine thermische Beschädigung des Liners wurde ebenfalls nicht festgestellt. Zum einen besitzt das weiße Linermaterial eine geringe Laserabsorption zum anderen wirkte das Wasser erwartungsgemäß als Wärmesenke auf der Linerinnenseite. Die Erstlagenanbindungsqualität war ausreichend.

Das zuvor definierte und berechnete Ablegemuster konnte während der Demonstratorfertigung vollständig umgesetzt werden.



(a) Teilweise belegter Liner



(b) Tank nach Abschluss des Legeprozesses

Abbildung 6-21 Tapelegeprozess zur Herstellung des Tankdemonstrators

Teilarbeitspaket 2.1.3: Kosteneffiziente additive Metallfertigung

Nach Start des TAP 2.1.3 Kosteneffiziente additive Metallfertigung wurde eine Analyse verschiedener Bauteile der DAG und verschiedener Fertigungstechnologien durchgeführt. Das größte Potential für metallische additiv gefertigte Bauteile wurde bei der Substitution von Aluminium Feinguss Bauteilen identifiziert. Um den qualitativen Anforderungen an typische Bauteile der DAG zu genügen, wurde als vielversprechendstes Verfahren das Pulverbett Lasersinterverfahren ausgewählt. Für eine Bewertung der Druckqualität, wurden im Rahmen des Projektes zwei typische Geometrien umgesetzt: ein Lüfterlaufrad und ein Pumpengehäuse. Das Lüfterrad wurde im Rahmen der akustischen und aerodynamischen Optimierung in Teilarbeitspaket 3.3.2 „Aktive Geräuschunterdrückung“ entwickelt. Das Pumpengehäuse besitzt generische Eigenschaften wie Anbindungspunkte, Passungen für die Motorlagerung und Kühlrippen.

Abbildung 6-22 zeigt ein konventionell gefertigtes Lüfterrad (links) und das bereits bearbeitete, additiv gefertigte Lüfterrad (rechts). Die geforderten Toleranzen im Bereich der Lagerung und am Außendurchmesser machten bei diesem Bauteil eine mechanische Nachbearbeitung erforderlich. Der Aufwand hierfür ist jedoch vergleichbar mit dem für Laufräder, deren Rohlinge im Feinguss hergestellt wurden. Die spezifische Oberflächenstruktur des additiv gefertigten Laufrads war im Bereich der aerodynamischen Flächen sogar vorteilhaft gegenüber konventionell gefertigten Bauteilen, sodass hier auf eine Nachbearbeitung verzichtet werden konnte.



Abbildung 6-22 Gedrucktes Lüfterlaufrad mit optimierter Schaufelgeometrie für ARU

Abbildung 6-23 zeigt ein gedrucktes Pumpengehäuse. Auch bei diesem Bauteil wurden Passflächen im Bereich der Bohrung mechanisch nachbearbeitet. Die Oberfläche des gedruckten Roh- teils wurde zudem durch Hartanodisieren nachbehandelt. Die geforderten Toleranzen wurden im Druck erreicht.



Abbildung 6-23 3D-gedrucktes und integrales Pumpengehäuse

Eine abschließende Bewertung der Druckverfahren (insbesondere für metallische Bauteile) und eine Betrachtung von Bauteilen der DAG hat ergeben, dass ein wirtschaftlicher Einsatz der additiven Fertigung innerhalb des Produktportfolios der DAG für Serienbauteile nicht sinnvoll erscheint. Es konnten bei hochqualitativen und qualifizierbaren Druckverfahren keine signifikanten Kostensenkungen ermittelt werden. Gleichzeitig verhindert die erforderliche Nacharbeit bei geometrisch komplexen Bauteilen weiterhin einen Kostenvorteil gegenüber konventionellen, mechanischen Bearbeitungsverfahren. Allerdings waren die qualitativen Ergebnisse der gedruckten Beispielbauteile hervorragend und konnten ohne Einschränkungen für funktionale Versuche und erste Tests verwendet werden. Die mechanischen Eigenschaften sind dabei vergleichbar mit denen von Bauteilen, die im Feinguss hergestellt wurden. Im Rahmen von Entwicklungsprojekten stellt der 3D-Druck in der Tat auch eine wirtschaftlich attraktive Lösung im Vergleich zum Feinguss dar. Dies resultiert aus der deutlich kürzeren Durchlaufzeit von typischerweise vier bis sechs Wochen im Vergleich zu neun bis zehn Monaten beim Feinguss.

6.3 Hauptarbeitspaket 3: Kabinensysteme & Netzwerke

Das Hauptarbeitspaket 3: Kabinensysteme & Netzwerke setzt sich aus den Arbeitspaket 3.1: Cabin Experience System NG, Arbeitspaket 3.2: Wassersystemkomponenten, Arbeitspaket 3.3: Galley Luftkühlsysteme und Arbeitspaket 3.4: Katalytisches Not-Sauerstoffsystem zusammen.

6.3.1 Arbeitspaket 3.1: Cabin Experience System NG

Teilarbeitspaket 3.1.1: Intelligente Lavatory

Um einem gesteigerten Komfortbedürfnis und einem drastisch gewachsenen Hygienebewusstsein Rechnung zu tragen, wurde in diesem Teilarbeitspakete die Spezifikation, Konzepterstellung, Entwicklung und der Test einer berührungslosen Türöffnung und Türverriegelung für Flugzeuglavatories durchgeführt. Dabei erfolgten die Arbeiten in enger Zusammenarbeit mit DAH. Zunächst wurden neben luftfahrtspezifischen Anforderungen grundlegende funktionale sowie sicherheitstechnische Anforderungen an ein solches, intelligentes System gesammelt, bewertet und dokumentiert. So ist es z.B. notwendig, dass im Falle eines Ausfalls der Automatik die Lavatory immer manuell entriegelt und geöffnet werden kann. Das erarbeitete Konzept gliedert die Lösung in zwei Subkomponenten den Schloss-Aktuator und den Tür-Aktuator.

Schloss-Aktuator

Auf Basis des Laboraufbaus, der im Rahmen des Forschungsprojektes Michel bei Diehl Aviation in Hamburg entstand, wurde ein Schloss-Aktuator von Diehl Aviation Gilching entworfen, als Funktionsmuster aufgebaut und in den Hamburger Laboraufbau integriert (vgl.: Abbildung 6-24). Der Aufbau besteht aus einem Linearaktuator mit Schrittmotor und nicht selbsthemmender Steilgewindespindel im Türrahmen der Lavatory-Wand, der über zwei Schiebelbolzen das weiterhin vorhandene mechanische Schloss im Türblatt betätigt.

Mit dieser Konstruktion konnte nachgewiesen werden, dass einerseits das Verschließen der Lavatory-Türe über den gewählten Linearaktuator funktioniert, aber auch, dass im stromlosen Zustand der vorhandene Schiebeschalter zum Öffnen und Verschließen mit geringem Kraftaufwand bewegt werden kann.



Abbildung 6-24 Verriegelungsaktuator (links) mit üblicher manueller Verschlussbedienung (rechts)

Bei weiteren Untersuchungen am Aufbau zeigte sich, dass die mechanischen Toleranzen des Gesamtsystems mit Aktuator in der Toilettenwand und dem mechanischen Verschlussmechanismus im Türblatt so groß werden können, dass die Funktion des Verschließens nicht mehr zuverlässig sichergestellt werden kann.

Auf Basis dieser Ergebnisse mit der für Lavatories üblichen Doppelfaltdür wurde das Türverschluss-Konzept überarbeitet. Beim überarbeiteten Konzept ist der Schlossaktuator im Türblatt integriert und die Tür wird zwischen beiden Türblättern der Doppelfaltdür verriegelt.

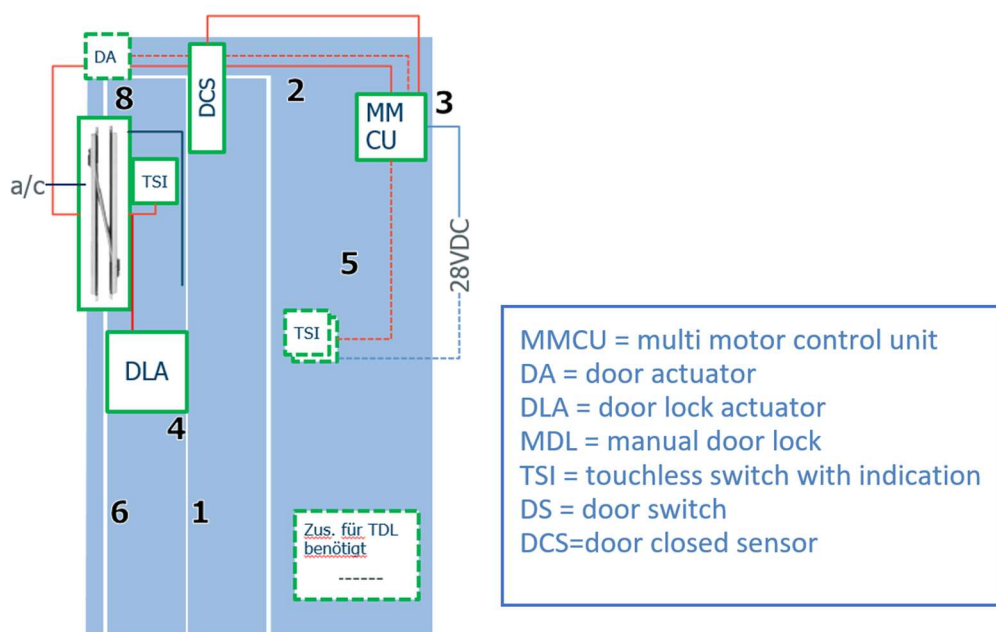


Abbildung 6-25 Türverschluss-Konzepte

In diesem Konzept ist in der Tür ein elektrischer Antrieb, so dass der Strom von der Wand in diese bewegliche Tür geführt werden muss. Mehrere Konzepte der Stromführung wurden betrachtet. Als zielführendste Lösung wurde ein käuflicher Kabelübergang mit einem robusten Metallschlauch zur Durchführung der elektrischen Kabel gewählt.

Der grundsätzliche Vorteil dieses Aufbaus ist, dass die für den Türverschluss relevanten Toleranzen zwischen den beiden Türblättern im Rahmen der Fertigung grob gehalten werden können.

Weiterhin positiv ist in diesem Türaufbau, dass der elektrische Strom nur von der Wand in das erste Türblatt geführt werden muss.

Als Risiko wurde bei diesem Konzept identifiziert, dass ohne den Schlossriegel zur Wand eine Kraft, die gegen die Türe drückt, nun vollständig von den Scharnieren in die Wandstruktur abgeleitet werden muss. Eine erste Simulation zeigte, dass der Aufbau den benötigten Kräften standhalten kann (vgl. Abbildung 6-26).

Load Case 2

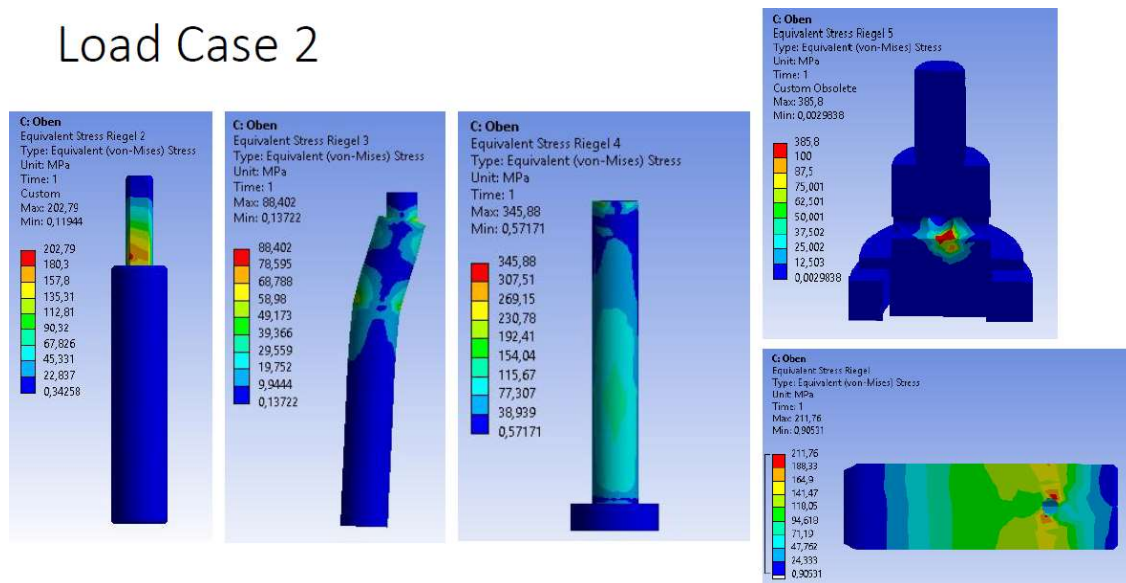


Abbildung 6-26 Simulation der Lastmomente für einen spezifischen Lastpunkt

Tür-Aktuator

Ein weiterer wichtiger Aspekt für Funktionalität des Aufbaus sind zuverlässige Sensoren, die erkennen, ob die Türe bzw. das Schloss offen oder geschlossen ist. Hier wurden berührungslose, magnetisch auslösende Positionssensoren favorisiert. Anhand einer Auswahl kommerzieller Sensoren und Magneten konnten am Tür- und am Schlossaufbau passende Sensoren mit einer sinnvollen Positionierung gefunden werden, um eine zuverlässige Lagedetektion zu ermöglichen.

Bei einem früheren Aufbau im Projekt MICHEL, wurde für die elektrische Türöffnung ein dreistufiger Getriebemotor eingesetzt. Erste Ergebnisse zeigten jedoch, dass der genutzte Getriebemotor mit dreistufigem Getriebe nicht für eine manuelle händische Türbewegung ausgelegt ist und frühzeitig ausfiel. Da eine manuelle Notbetätigung der Türe aber aus Sicherheitsgründen notwendig ist, wurde eine neue Motor-Getriebeinheit mit zweistufigem Getriebe gefunden, die diesen Erfordernissen genügt. In diesem Zug wurde der Antriebsaufbau weiterentwickelt, aufgebaut und in Betrieb genommen. Die Funktion wurde in Tests erwartungsgemäß erfüllt.



Abbildung 6-27 Türantrieb Neu

Für die berührungslose Türöffnung und Türverriegelung ist ein berührungsloser Taster zur Aktivierung der Funktionen erforderlich. Da dieser zunächst erst im späteren Projektverlauf zur Verfügung stand und um die Applikationstests terminlich nicht zu gefährden, wurde intern eine Nachbildung des Tasters mit gleichem Verhalten, aber mit Berührungsauslösung entwickelt. Als Basis diente dazu ein Mikrocontroller-Evaluierungs-Board mit Touch-Display. Passende Hardware wurde bestellt und nach notwendigen Hardware-Ergänzungen in Betrieb genommen.

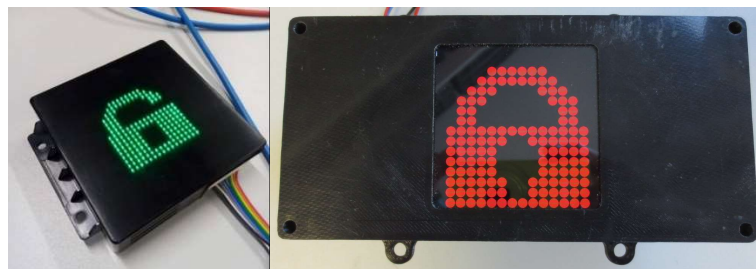


Abbildung 6-28 Prototyp kommerzieller berührungsloser Taster und Ersatz-Nachbildung

Für die Ansteuerung der Motoren wurde eine vorhandene Steuerelektronik, genannt Multi-Motor-Control-Unit (MMCU) ausgewählt und für die spezifische Anwendung angepasst.



Abbildung 6-29 Steuerelektronik MMCU und Gehäuse

Türaktuator und Türschlossaktuator sowie die Emulation der Taster wurden gemeinsam mit der Steuerungselektronik in den Laboraufbau für die berührungslose Toilettentür integriert (vgl.: Abbildung 6-30 und Abbildung 6-31). Für die Nutzung der eigenen Steuerelektronik (MMCUCU) wurde zudem eine Ansteuersoftware programmiert und damit die grundlegende Funktion der automatisierten Tür nachgewiesen.



Abbildung 6-30 Tür mit Motor und Kabelverbindung

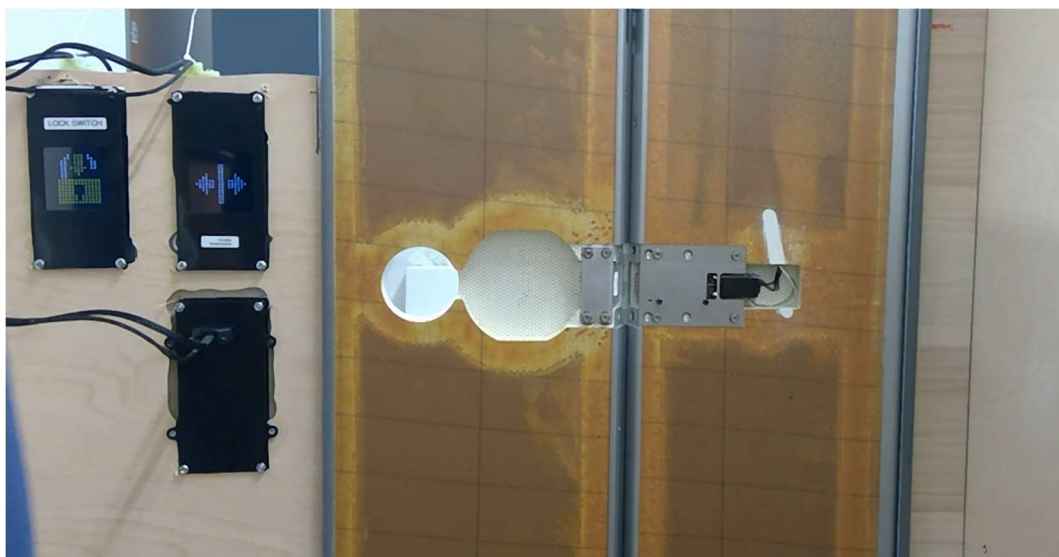


Abbildung 6-31 Laboraufbau Riegel mit Taster-Emulation

Nachdem der grundlegende Aufbau der berührungslosen Tür verfügbar war, wurde die Programmierung der Türansteuerung durchgeführt. Damit die Türbewegung in allen Betriebszuständen zuverlässig arbeitet, muss eine geregelte Ansteuerung erfolgen. Steuergröße ist der gewünschte Motorstrom, gemessen wird die Türposition über die Hall-Sensoren des Motors.

In einem ersten Design wurde ein dreistufiger, kaskadierter Regler aufgebaut. Im innersten Regelkreis wird der Motorstrom geregelt. Darüberliegend wird die Motorgeschwindigkeit geregelt. Die oberste Regelgröße ist die Türposition, die im realen Betrieb zuverlässig gehalten werden muss: Wenn beispielsweise die Tür geöffnet wurde, muss diese Position beibehalten werden, auch wenn z.B. durch eine entsprechende Fluglage die Tür selbständig wieder zufallen würde. Tests zeigten, dass die Hallsensoren des Motors eine so ungenaue Positionserkennung des Motors liefern, dass damit keine ausreichend gute Regelung möglich ist. Um diese Problematik zu lösen, wurde eine neue Motor-Getriebeeinheit mit hochauflösendem Winkelgeber integriert. Für die Design-Verifizierung wurden alle Anforderungen auf ihre Design-Verifikation Relevanz bewertet und darauf aufbauend ein Testkonzept erarbeitet. Für Dauerlaufversuche im Rahmen der Verifikation wurde ein Prüfstand konstruiert und mit einer angepassten Software in Betrieb genommen (vgl.: Abbildung 6-32).

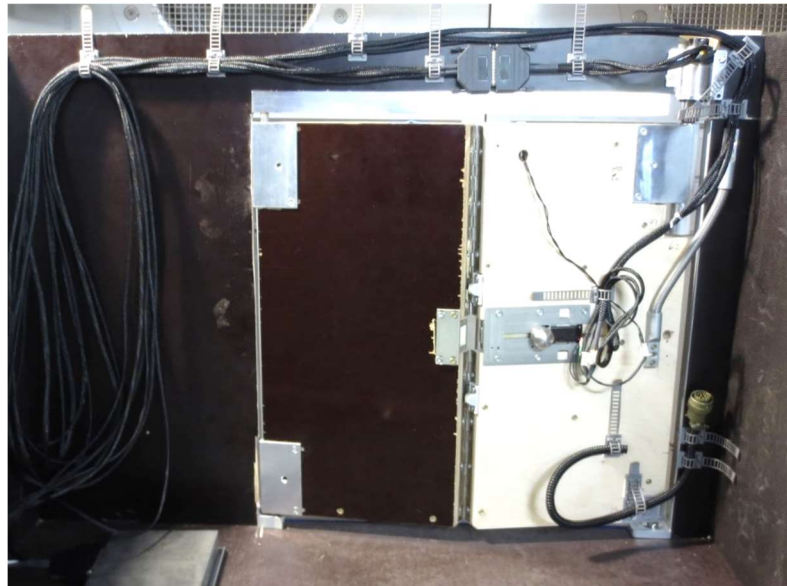


Abbildung 6-32 Dauerlauf-Teststand

Als Ziel für den Dauertest wurden 500.000 Nutzungs-Zyklen definiert, was bei einer angesetzten Lavatory Lebensdauer von 12 Jahren durchgängig eine Lavatory-Nutzung alle 3 Minuten bedeutet. Während des Dauertests kam es immer wieder zu Blockaden, die sowohl mechanische Justierungen als auch Verbesserungen in der Software notwendig machten. Nach ca. 5 Monaten wurde die geplante Zykluszeit erreicht. Obwohl an mehreren Stellen Abrieb sichtbar wurde (Zahnräder, Scharnier, Schlossriegel) hat die mechanische Konstruktion die geforderte Lebensdauer erreicht. Der Türmotor wurde dem Hersteller zur Analyse übergeben. Dort konnte kein bedenklicher Verschleiß identifiziert werden. Somit ist der gewählte Getriebemotor für die Anwendung ausreichend robust dimensioniert.

Basierend auf den Definitionen für die Designverifikation wurden mit der Elektronik „MMCu“ und den Tür- und Schlossaktuatoren sowie der zugehörigen Verkabelung erste Tests zur elektromagnetischen Verträglichkeit durchgeführt. In der Absorberhalle der Diehl Aviation in Dresden wurden Tests zur leitungsgebundenen Emission (Conducted Emission CE) durchgeführt.

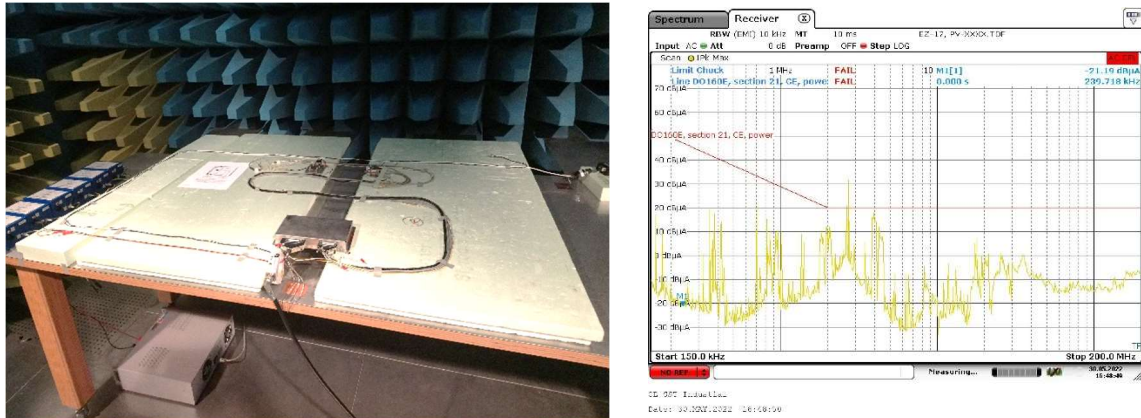


Abbildung 6-33 EMV – Laboraufbau und Messprotokoll

Hier zeigte sich, dass bei einigen Messsituationen die definierten Grenzwerte überschritten werden (siehe auch Bild oben rechts, die rote Linie ist der Grenzwert). Als Störquelle konnten die Schaltflanken der Leistungstransistoren von der Türmotoransteuerung identifiziert werden. Die Elektronik konnte diesbezüglich optimiert werden.

Die Temperaturtests wurden mit dem Dauerlauf-Prüfstand bei Temperaturen von -15°C und +55°C durchgeführt. Bei beiden Temperaturen funktionierte das System korrekt. Der erzeugte Lärm bei der Nutzung der Tür darf 70 db(A) in einem Meter Entfernung nicht überschreiten. Der Aufbau erzeugte nur gut 55 db(A) und lag damit deutlich unter dem geforderten Grenzwert. Sowohl in stromlosem Zustand als auch bei aktiver Automatik konnte die Tür und das Schloss manuell bedient werden. Eine regulär berührungslose Nutzung ist nach der manuellen Bedienung weiterhin möglich. Beim Test auf Quetschgefahr darf der maximale Druck 50 N/cm² nicht überschreiten bzw. eine Kraft von maximal 150 N erreicht werden. Am Schlossriegel konnten maximal 24 N/cm² gemessen werden und beim Zufahren der Tür konnte eine dynamische Kraft von bis zu 98 N auftreten. In beiden Fällen sind die Anforderungen in Bezug auf die Quetschkräfte erfüllt. Die Stabilität bei maximalen Lastkräften wurden nur über eine Simulation nachgewiesen, siehe weiter oben im Text. Ein echter Belastungstest soll nachgeholt werden. Der Funktionstest auf eingeleitete Kräfte durch z.B. Nick- und Rollbewegung des Flugzeugs wurde bei Diehl in Dresden auf einer hydraulisch bewegbaren Plattform durchgeführt.

Dieser Testaufbau war für die Programmierung der Türmotor-Regelung von zentraler Bedeutung, da abhängig von der Schräglage für die Türbewegung sehr unterschiedliche Kräfte aufgebracht werden müssen. Nachdem die Motorregelung der Türbewegung zufriedenstellend imple-

mentiert werden konnte, zeigte sich aber, dass der bisher gewählte Motor zu wenig Kraft aufbringt, um die geforderte Schräglage von bis zu 10° zu bewältigen, wie sie im nachfolgenden Bild zu sehen ist:

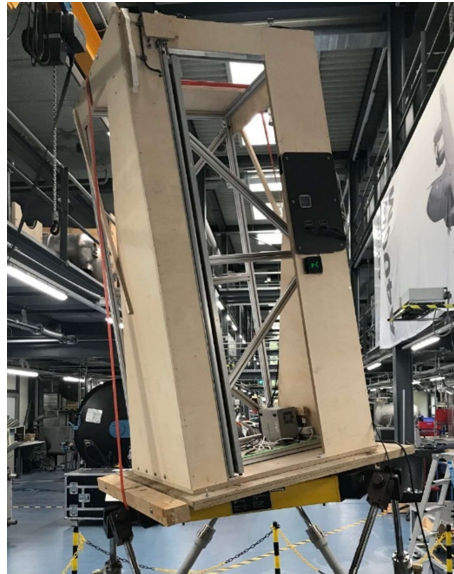


Abbildung 6-34 offene Tür bei maximaler Schräglage

Ein neuer, stärkerer Motor mit größerem Durchmesser wurde ausgewählt und in Kombination mit dem benötigten Getriebe beschafft. Integrationsuntersuchungen zeigten, dass er weiterhin in den Gesamtaufbau integrierbar ist.

Nach Einbau in das Gesamtsystem und Anpassung der Software an den neuen Motor wurden die Tests zu den eingeleiteten Kräften durch Nick- und Rollbewegung wiederholt. Nun konnte die Tür auch mit der geforderten Schräglage von bis zu 10° betrieben werden und somit die Anforderungen erfüllen.

Im Bereich der elektrischen Tests wurde eine maximale Leistungsaufnahme von ca. 20 W gemessen, wobei es zu Lastspitzen unter einer Sekunde Dauer mit bis zu 30 W kommen kann. Von einer Überspannung von 32 V bis zu einer Unterspannung von 22,0 V arbeitet die Elektrik störungsfrei. Damit ist der das System im gesamten nach der Norm RTCA DO 160 G definierten regulären Spannungsbereich funktionsfähig.

Mit der Design Verifikation konnte die Erfüllung der wesentlichen Anforderungen an die berührungslose Toilettentür nachgewiesen werden. Die Arbeiten der Diehl Aviation Gilching an der berührungslosen Türöffnung und Türverriegelung wurden damit innerhalb des Verbundprojektes erfolgreich abgeschlossen.

Mit den funktionalen berührungslosen Tastern und den weiteren Komponenten der berührungslosen Tür wurde ein Messedemonstrator für die Aircraft Interior Messe AIX 2023 aufgebaut und dort erfolgreich vorgeführt.



Abbildung 6-35 Messedemonstrator Details: berührungslose Taster und Schloss

6.3.2 Arbeitspaket 3.2: Wassersystemkomponenten

Teilarbeitspaket 3.2.1: Intelligentes Lavatory Wasserversorgungsmodul

In einem ersten Schritt wurde ein Grobkonzept für einen berührungslosen Wasserhahn erstellt. Besonderes Augenmerk wurde in dieser Phase auf die Verortung des Solenoidventils gelegt. Möglich war eine Trennung vom Wasserhahn hinter der Wandung oder eine direkte Integration in den Grundkörper des Wasserhahns. Ein Variantenvergleich führte zu der unten dargestellten Lösung mit integriertem Solenoidventil. Dieses Konzept stellt eine mögliche Grundlage für eine direkte Integration einer UV-Behandlung in den Wasserhahn dar. In Kombination mit der berührungslosen Aktivierung wird der herkömmliche mechanische Wasserhahn um zwei hygienische Funktionen erweitert, ohne sich im Raumbedarf signifikant zu verändern.

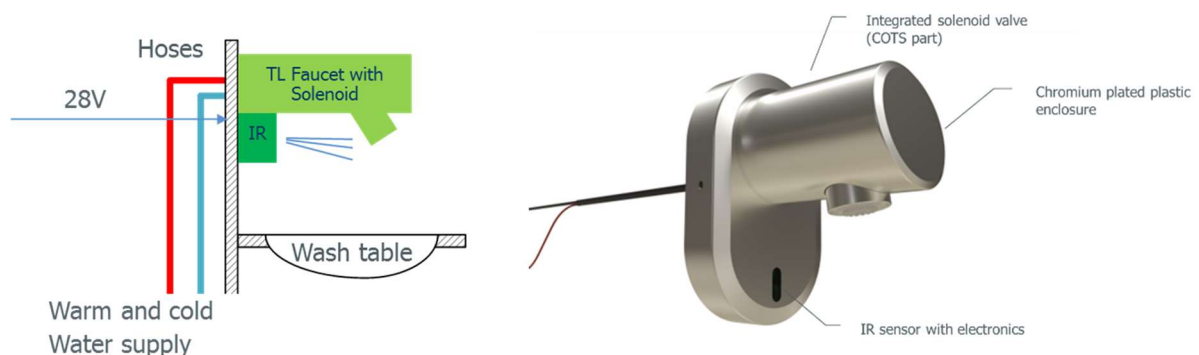


Abbildung 6-36 Schematische Darstellung des berührungslosen Wasserhahns mit integriertem Solenoid (links) und ein mögliches Design in Form eines 3D Modells des Wasserhahns mit Beschriftung der wichtigsten Komponenten

Bevor die mechanischen und elektrischen Komponenten des Wasserhahns konzeptioniert und in Form erster Funktionsmuster umgesetzt wurden, wurde ein Variantenvergleich möglicher Materialien für das Gehäuse durchgeführt. Insbesondere standen hier trinkwasserrelevante Aspekte (z.B. KTW Leitlinie, DVGW W270) sowie Anforderungen zu Brennbarkeit, Rauchentwicklung und Toxizität im Vordergrund.

Anschließend wurde eine erste Version einer Spezifikation auf Basis der bekannten Anforderungen erstellt. Weitere Anforderungen z.B. bezüglich des Wasserdrucks sowie bezüglich der hydraulischen und mechanischen Schnittstellen sind identisch zu bekannten konventionellen mechanischen Wasserhähnen.

Abbildung 6-37 zeigt eine erste Version der Ansteuerelektronik mit integriertem IR-Sensor, welche erfolgreich hinsichtlich der Hand-Gesten-Identifikation getestet wurde. In diesem Zuge konnten passende Schaltschwellen auf das Sensorsignal angewendet werden, welche eine erfolgreiche Handidentifikation in der gewünschten Entfernung zum Infrarot-Sensor ermöglichen.

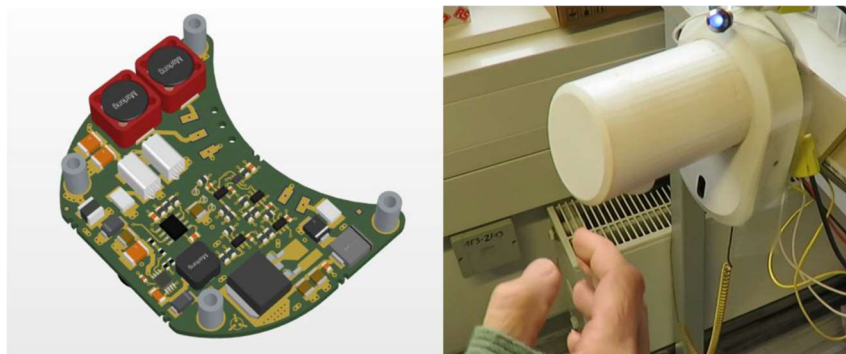


Abbildung 6-37 Platinenlayout mit IR-Sensor (links) und Platine umgesetzt als Funktionsmuster in Wasserhahn-Body (PEEK) zur Handerkennung (rechts)

Als weitere Kernkomponente konnte das integrierte Solenoid-Ventil konstruktiv umgesetzt und anschließend in Form eines Funktionsmusters getestet werden (siehe Abbildung 6-38). Hierfür wurde eng mit der Firma Groth zusammengearbeitet. Als besonders anspruchsvoll hat sich bei der Entwurfsplanung für das Solenoid-Ventil der Umstand herausgestellt, die hydraulisch durchflossenen Bereiche derart auszugestalten, dass mögliche Luftblasen, welche sich im Wasserzufluss befinden durch hohe Scherkräfte direkt durch den Perlator ausgetragen werden. Somit können sich diese nicht ungewollt in Bereichen des Ventilkörpers ansammeln, was zur Beeinflussung der Strömungsbedingungen führen würde.

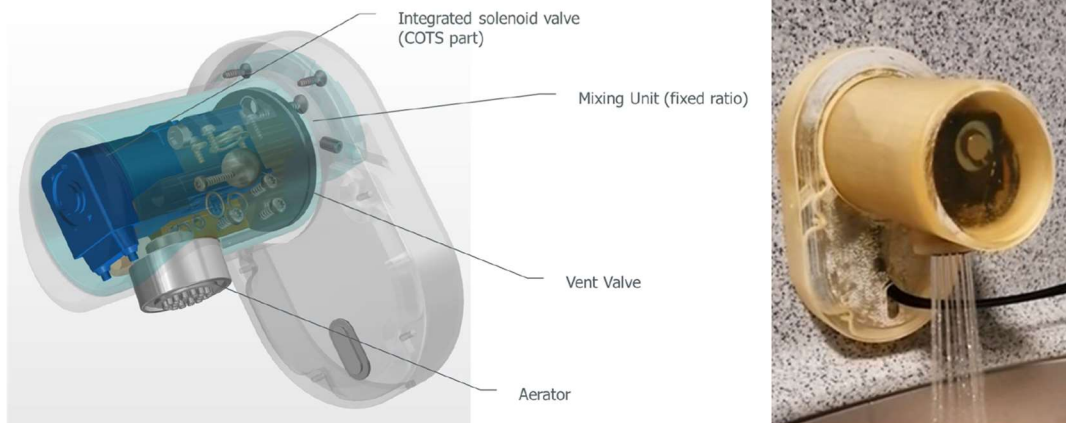


Abbildung 6-38 Positionierung des Solenoid-Ventils (links) und Funktionsmuster des berührungslosen Wasserhahns (rechts).

Abbildung 6-39 zeigt die im Labor ermittelte hydraulische Leistungsfähigkeit des Funktionsmusters des berührungslosen Wasserhahns in Abhängigkeit des verwendeten Perlators.

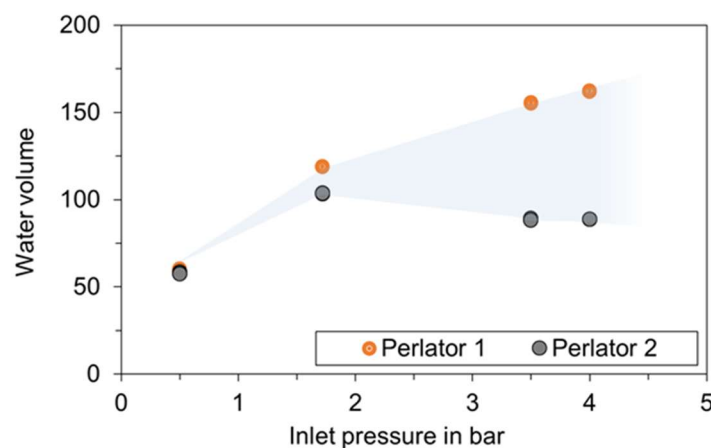


Abbildung 6-39: Hydraulische Leistung des Wasserhahns in Abhängigkeit des benutzten Perlator-Typs. Während der Projektlaufzeit von EFFEKT ergaben sich im Rahmen von Gesprächen mit Airlines Möglichkeiten zu einer zeitnahen kommerziellen Verwertung des berührungslosen Wasserhahns in zwei Flugzeugprogrammen. Daher wurden die Ergebnisse in ein Entwicklungsprojekt überführt und die Arbeiten in EFFEKT vor Projektende abgeschlossen.

Teilarbeitspaket 3.2.2: Radar Frischwasser Füllstandssensor

Mit dem „Radar Frischwasser Füllstandssensor“ wurde ein neuartiges Messprinzip für die berührungslose Füllstandsmessung in Frischwassertanks entwickelt, umgesetzt und getestet. Hauptvorteile dieses Messprinzips, sind ein reduziertes Sensorgewicht, flexible Integrationsmöglichkeiten - auch im Retrofit - sowie die einfache Anpassung an unterschiedliche Tankgrößen und -formen.

Die Entwicklung der Radarsensormuster erfolgte iterativ. Zunächst wurden einige Teilfunktionen des Gerätes in Vorstudien untersucht. Anschließend wurden verschiedene Musterbauzustände

aufgebaut, welche basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen schrittweise hinsichtlich der Teilaspekte Linse, Gehäuse und der internen Signalverarbeitung verbessert wurden. Abschließend wurden sowohl funktionale als auch luftfahrtrelevante Tests durchgeführt.

Vorstudie und Konzeptfestlegung

Nach Spezifizierung der Anforderungen wurde ein modulares Konzept für den Radarsensor erarbeitet. Dieses sieht vor, dass der eigentliche Sensor einen Standardanschluss erhält, der mit Hilfe eines Adapters an unterschiedliche Tankschnittstellen adaptiert werden kann.

Für den eigentlichen Sensor wurde zu Projektbeginn zunächst eine Konzeptstudie durchgeführt. In der Studie wurden Maßnahmen zur Minimierung der durch das Messprinzip bedingten Totzone zwischen Sensor und Wasseroberfläche und zur Reduzierung der Prozessöffnung entwickelt und untersucht. Für diesen Zweck wurden unterschiedliche Linsen-Radarchip Kombinationen untersucht und in ersten Studien die Richtcharakteristik optimiert. Aus den Ergebnissen ging hervor, dass die Kombination aus Sendeantenne Tx1 und Empfangs-antenne Rx3 die besten Ergebnisse liefert. Abbildung 6-40 Beam horizontal ohne Linse und Gehäuse zeigt exemplarisch die Vermessung der Richtcharakteristik.

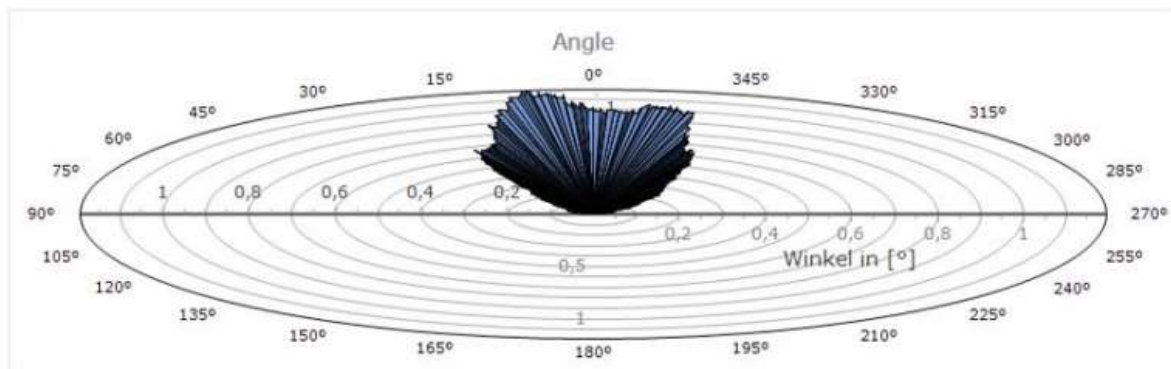


Abbildung 6-40 Beam horizontal ohne Linse und Gehäuse

Linsenentwicklung

Um die Radarsignale effizient bündeln zu können, wurde eine spezielle Linse entwickelt. Hierfür wurde eine Simulationsmodell genutzt, um das Abstrahlverhalten zu optimieren. In Abbildung 6-41 ist die Simulation der Bündelung zu sehen.

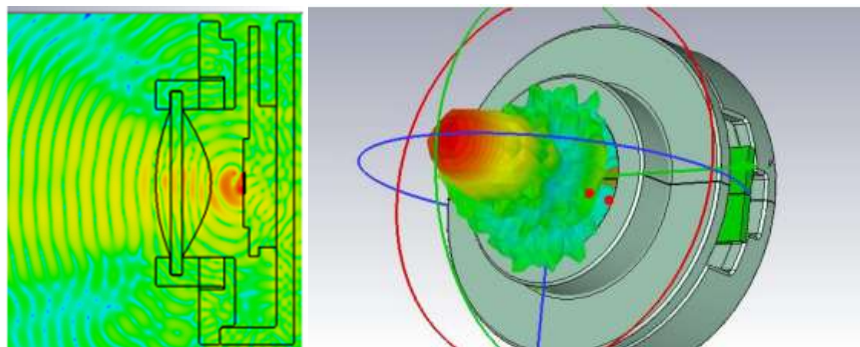


Abbildung 6-41 Simulation der Bündelung der Linse und Darstellung der Richtcharakteristik

Die elektromagnetischen Wellen vom Radarchip werden über die neu entwickelte Doppelkonvexlinse (vgl. Abbildung 6-42) in eine gleichmäßige Wellenfront verformt. Dies resultiert in einer Gleichrichtung und Bündelung der elektromagnetischen Wellen und erhöht die Messgenauigkeit und reduziert die Totzone.



Abbildung 6-42 Radarsensor Linse

Gehäuseentwicklung

Das Gehäuse wurde in 3D Druck gefertigt. Der Radarchip wurde so unter dem Deckel des Gehäuses befestigt, dass die Antennen möglichst mittig unter dem Brennpunkt der Linse liegen.

In Abbildung 6-43 ist ein Muster des Gehäuses gezeigt.



Abbildung 6-43 Gehäuse

Signalverarbeitung und Messgenauigkeit

Die Signalverarbeitung erfolgte im Rahmen der Forschungsarbeiten zunächst auf einem gesonderten PC, um flexible Softwareanpassungen vornehmen zu können. Zur Auswertung der Signale und Auflösungsoptimierung der FFT wurde eine eigene Software programmiert. Hierbei wurden die Roh ADC-Werte des Radarchips zur Auswertesoftware übertragen. In der Auswertesoftware wurde dann auf Grundlage der komplexen ADC Werte eine FFT durchgeführt. Des Weiteren ermöglicht die Software die Konfiguration des Radarchips.

Funktionale Verifikation

Für die Entwicklung und funktionale Verifikation wurden verschiedene Prüfstände genutzt. Der Grundsätzliche Aufbau ist Abbildung 6-44 dargestellt. Der Radarsensor wurde in einen Frischwassertank integriert, dessen Füllstand variiert werden konnte. Die Füllstandsreferenz wurde in Abhängigkeit des Aufbaus entweder gravimetrisch, per Ultraschall oder optisch über ein Lineal ermittelt.

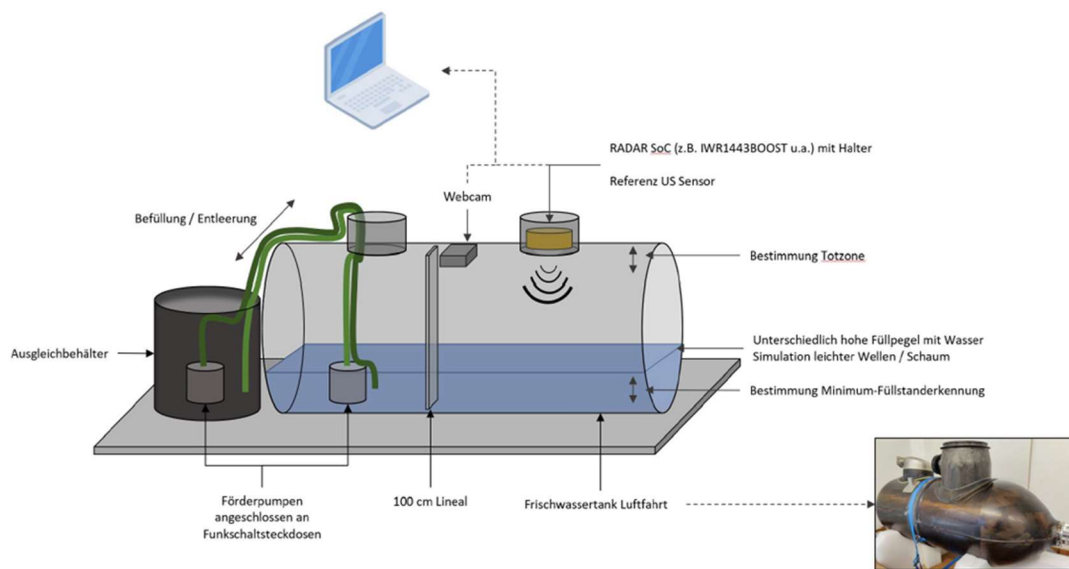


Abbildung 6-44 Versuchsaufbau für Verifikationstests

Abbildung 6-45 zeigt exemplarisch den Vergleich zwischen der Füllstandsermittlung direkt am Radarchip bzw. am Stromausgangs des Sensors und durch Gravimetrie während der Befüllung und des Entleerens des Tanks. Die Messgenauigkeit auch im Nahbereich (Tank fast vollständig gefüllt) erfüllte die gesetzten Anforderungen.

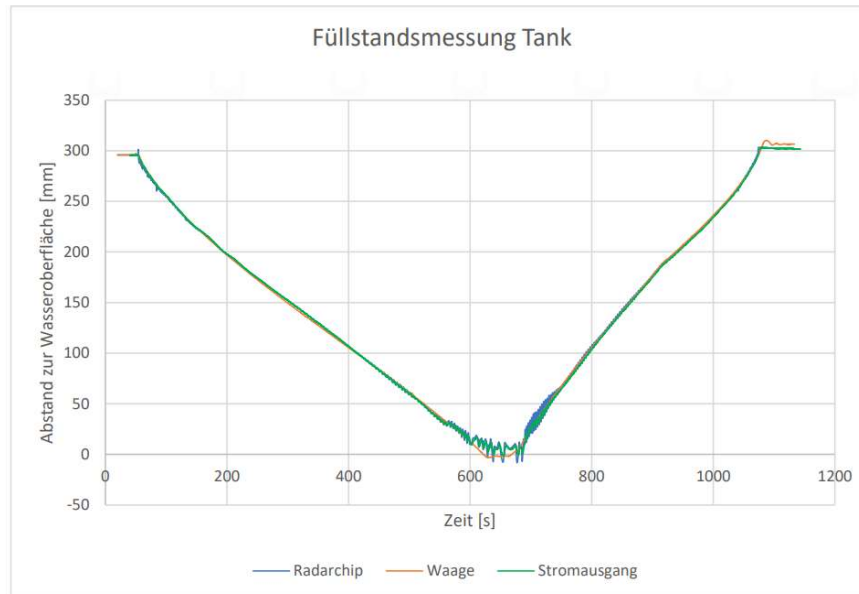


Abbildung 6-45 Exemplarische Validierung der Füllstandsmessung

Um die Genauigkeit der Messung auch bei unterschiedlichen Fluglagen sicherzustellen, wurden neben Versuchen in der Ebene weitere Versuche auf einem Hexapod durchgeführt (vgl.: Abbildung 6-46). Auch bei diesen Versuchen wurden alle Anforderungen erfüllt.

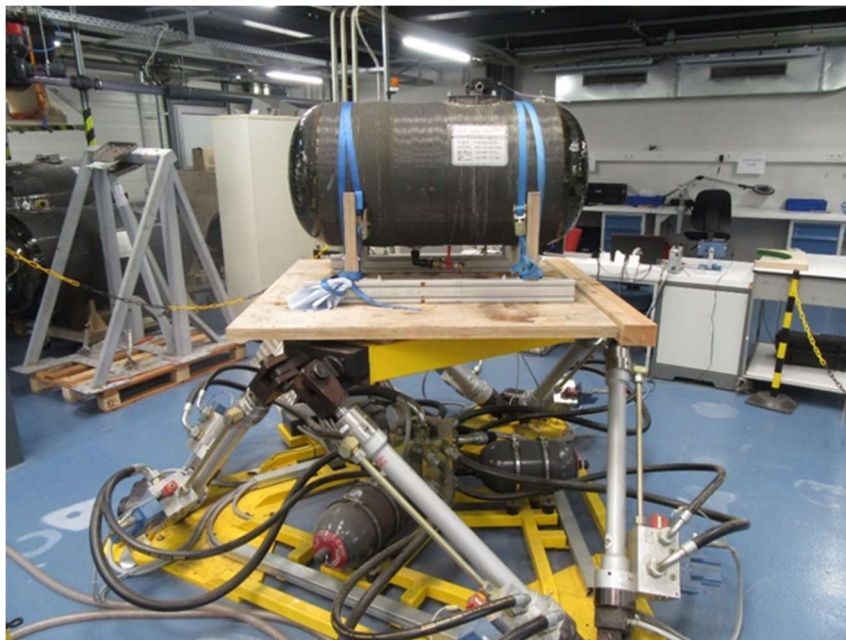


Abbildung 6-46 Funktionale Verifikation auf Hexapod

Verifikation typischer Luftfahrtanforderungen

Im Rahmen der Verifikation von Luftfahrtanforderungen lag der Fokus auf der Untersuchung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) sowie Shocks und Vibrationen.

Bei den EMV-Tests wurde das Abstrahlverhalten des Sensors in den Raum untersucht. Da das einschlägige Regelwerk, die RTCA-DO160G, keine Grenzwerte im relevanten Frequenzbereich zwischen 10 GHz und 100 GHz vorschreibt, wurde in Abstimmung mit verschiedenen Experten die bestehende Grenzkurve in diesen Frequenzbereich extrapoliert. Die Messungen wurden sowohl mit einem Polymergehäuse als auch mit einem Metallgehäuse für den Radarsensor durchgeführt. Der verwendete Tank wurde aus carbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK) gefertigt. Abbildung 6-47 zeigt den Versuchsaufbau in einem spezialisierten, externen Prüflabor.

Beim Funktionsmuster mit Metallgehäuse konnte keine Abstrahlung in den Raum gemessen werden. Das Gehäuse und auch der CFK Tank haben für eine vollständige Abschirmung gesorgt. Beim Kunststoffgehäuse konnten Störsignale ermittelt werden, die jedoch im gesamten Frequenzbereich deutlich unter den definierten Grenzwerten lagen. Die Verifikation konnte somit erfolgreich abgeschlossen werden.



Abbildung 6-47 Prüfaufbau RTCA Messungen unter- und oberhalb von 18GHz

Im Rahmen der Vibrationstests (vgl.: Abbildung 6-48) wurde untersucht, ob das Gehäusedesign ausreichend stabil ist und insbesondere ob der Abstand zwischen Linse und Radarchip unbeeinflusst bleibt. Die Tests wurden nach RTCA DO160G Section 8 Vibration Cat S Curve C durchgeführt und erfolgreich abgeschlossen.

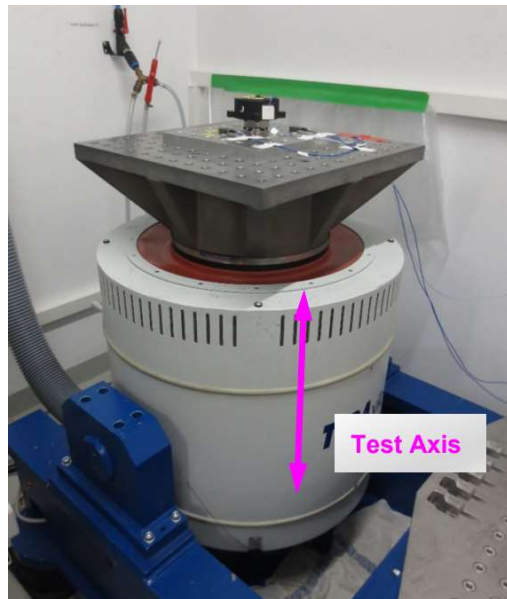


Abbildung 6-48 Vibrationstests nach RTCA DO160G

Teilarbeitspaket 3.2.3: Frischwasser Betankungsfilter

Zu Beginn der Arbeiten im Rahmen des Teilarbeitspakets 3.2.3: „Frischwasser Betankungsfilter“ wurden die Anforderungen an den Frischwasser Betankungsfilter in Form einer Spezifikation als Grundlage für den Start der Entwicklungstätigkeiten des Projektpartners Aquafree erstellt und übermittelt. Ein wichtiger Aspekt war die Festlegung des Aufbereitungsziels des Frischwasserfilters. Dabei wurde sich an relevanten Standards im Bereich Trinkwasseraufbereitung mittels Membranfiltration orientiert (Arbeitsblatt DVGW W 213-5). Im Detail wurden Anforderungen hinsichtlich des Partikelrückhaltes sowie der aufzubereitenden Wassermenge bis zum Wechsel des Filters festgehalten.

In einem weiteren Schritt wurde eine Bauraumanalyse an einem konkreten Umsetzungsbeispiel durchgeführt, um somit die Einbauposition des Frischwasserbetankungsfilters und die relevante Peripherie zu identifizieren. Abbildung 6-49 zeigt die beiden identifizierten möglichen Positionen (A und B) für den Wassereinflussfilter im Umfeld des Wassereinflussstutzens. In einem Variantenvergleich wurde schnell klar, dass Position B deutliche Vorteile gegenüber Position A hat. Dies lässt sich insbesondere auf folgende zwei Aspekte zurückführen: (i) Bessere Erreichbarkeit des Filters im Heckbereich (gelb) im Vergleich zum Cargobereich (grün) (z.B. für Wartungszwecke) und (ii) größeres Platzangebot im Vergleich zu Position A (direkt hinter dem Service-Panel mit vielen mechanischen und elektrischen Schnittstellen).

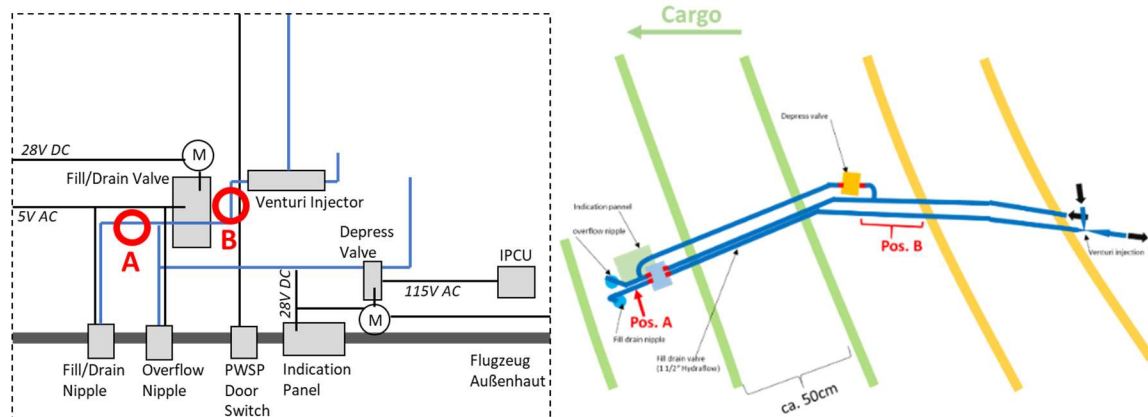


Abbildung 6-49 Mögliche Positionen (A und B) des Wassereinflussfilters im Umfeld des Einfüllstutzens am Service-Panel (links) und Identifizierung der Positionen A und B in einer schematischen, maßstabsgetreuen Darstellung mit Peripherie (rechts)

Seitens des Partners Aquafree wurde nach Übermittlung der Spezifikation eine Abweichung in Bezug auf die hygienische Entfernungsleistung des Einlassfilters angezeigt. Eine der Hauptaufgaben des Einlassfilters ist die Vermeidung einer mikrobiologischen Besiedelung des Frischwassersystems in einem Passagierflugzeug unter gleichzeitiger Sicherstellung des Standes der Technik in Bezug auf die Wasserqualität. Aus diesem Grund wurde die Entfernungsleistung des Filters bisher entsprechend der DVGW Vorschrift W 213-5 auf 4 log-Stufen bei einer Partikelgröße von 20 bis 30 nm (Viren) festgelegt. Diese Entfernungsleistung für die kleinsten (Virus-)Partikel entspricht ebenfalls den Vorgaben der US EPA für die „Microbiological Water Purifiers“. Da im Zusammenspiel zwischen vorgegebenen Bauraum, Entfernungsleistung und Durchsatz des Filters zum durch den Partner Aquafree kein passendes Filtermaterial gefunden werden konnte wurde die Anforderung der Entfernungsleistung gegenüber Viren unter den gegebenen Umständen und nur für den Fortlauf des Effekt Projektes in eine mindestens 4 log Entfernung von Bakterien geändert. Dieser Schritt ist insofern mit den Projektzielen vereinbar als das Bakterien die maßgeblichen Verursacher einer mikrobiologischen Verunreinigung in Form eines Biofilms sind. Seitens DAG wurde ein Versuchsstand zur Durchführung der Verifikationsuntersuchungen des Einlassfilters aufgebaut. In Absprache mit Aquafree wurde ein entsprechender Verifikationsplan (vgl. Tabelle 6-1) erstellt. Der Versuchsstand, welcher an die Wassersystemarchitektur eines Langstreckenflugzeugs angelehnt ist, besteht aus einem Faserverbundtank sowie allen relevanten Anschlussfittings (Zulauf, Ablauf, Druckluftanschluss) welche zur Durchführung der Versuchsreihen benötigt werden. Das Funktionsmuster des Filters wurden von Aquafree zur Verfügung gestellt. Bei dem zur Verfügung gestellten Filter wie auch dem Filtergehäuse handelt es sich um bereits kommerziell verfügbare Komponenten der Firma Aquafree. Zwei der zur Verfügung gestellten Filter wurden in parallelem Betrieb im Versuchsstand verwendet.

Tabelle 6-1 Testplan für Verifikation des Frischwasserfilters

Parameter	Erläuterung
Befüllung des Frischwassertanks	Die Zeit zum Erreichen einer Vollfüllung des Frischwassertanks wird mit und ohne Einlassfilter bestimmt. Die Befüllung erfolgt bei einem konstanten Einlassdruck am Filter von 2,7 bar.
Entwässerung des Filters	Die Zeit zum Erreichen einer vollständigen Entleerung des Frischwassertanks wird mit und ohne Einlassfilter bestimmt. Die Entleerung erfolgt im freien Auslauf über Gravitation.
Arbeitspunkt bei Befüllung/Entleerung des Frischwassertanks	Ziel ist die Bestimmung des Arbeitspunktes (d.h. des Durchsatzes) mit und ohne Einlassfilter während der Befüllungs- und Entleerungsphase.
Entwässerung des Einlassfilters	Bestimmung der Restwassermenge im Filtermodul nach vollständiger Entwässerung

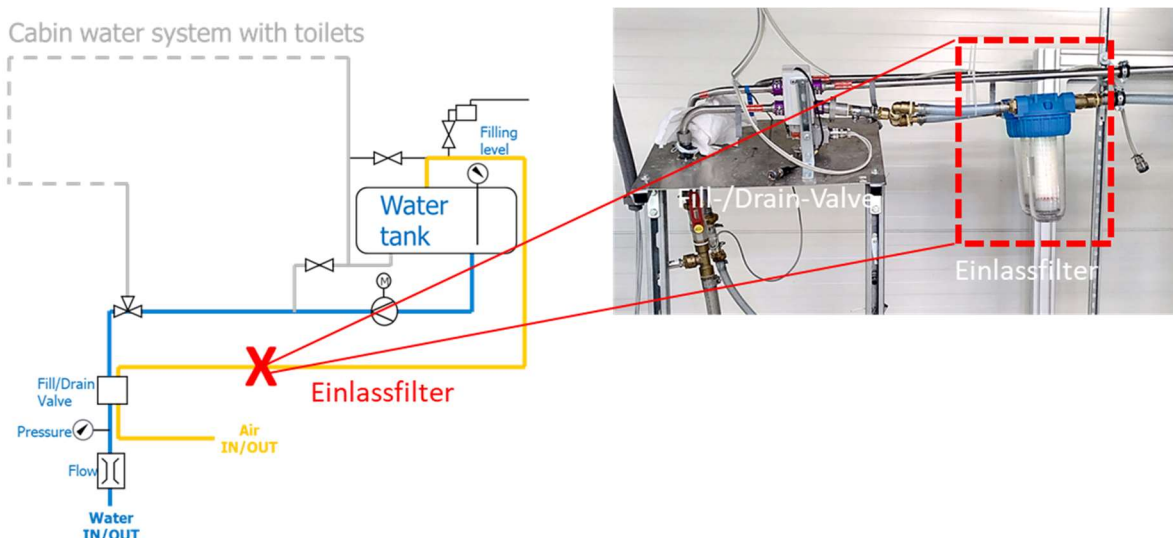


Abbildung 6-50 Versuchstand mit Frischwassereinlassfilter an der Einbauposition B.

Folgende Zielgrößen werden während der Befüllung und Entleerung des Tanks aufgezeichnet:

- Befüllung: Durchfluss in L/min, Druck in mbar, Füllstand in %
- Entleerung: Durchfluss in L/min, Druck in mbar, Füllstand in %, verbleibende Wassermenge nach Entleerung

Abbildung 6-51 zeigt den zeitlichen Verlauf des Einlassdruckes und des Tankvolumens über den Befüllungsvorgang des Frischwassertanks. Aus der Druckkurve (links) wird ersichtlich, dass mit Hilfe der drehzahlgeregelten Zulaufpumpe der Einlassdruck konstant gehalten werden konnte.

Während der Befüllung ohne Einlassfilter lag er bei 2719 ± 171 mbar und bei der Befüllung mit Einlassfilter lag er bei 2733 ± 57 mbar. Damit lag der Einlassdruck in beiden Fällen auf einem vergleichbaren Niveau. Abbildung 6-51 (rechts) zeigt einen zeitlichen Versatz in der Befüllkurve zwischen dem Versuch mit und dem Versuch ohne Einlassfilter. Aus den Verlaufskurven lässt sich schließen, dass durch die Verwendung des Einlassfilters der Befüllvorgang ca. 50% länger dauert. Nach derzeitigem Stand ist diese Verzögerung außerhalb des akzeptablen Bereichs.

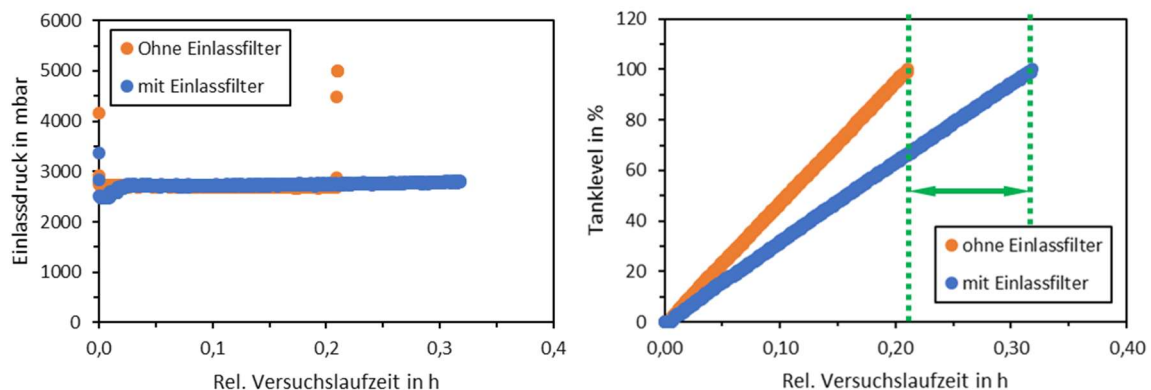


Abbildung 6-51 Einlassdruck und Tankvolumen über den Befüllungs- und Entleerungsvorgang.

Weiterhin wurde eine Restwassermenge von ca. 1 L nach Entwässerung in der Filterkartusche des Einlassfilters festgestellt. Diese Restwassermenge überschreitet die notwendigen Anforderungen für eine Einfriersicherheit des Frischwasserfilters um ein Vielfaches und ist ebenfalls nicht akzeptabel.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der vorgestellte Frischwasserbetankungsfilter nur einen Teil der gestellten Anforderungen erfüllt. Wichtige Kernanforderungen, insbesondere hinsichtlich der Entwässerbarkeit, werden jedoch nicht erfüllt. Es besteht weiterhin Forschungsbedarf nach Abschluss des Verbundprojektes um diese Fragen abschließend zu klären.

Teilarbeitspaket 3.2.4: Druckgeregeltes Vakuum- Toiletten-System

Ziel des „Druckgeregeltes Vakuum- Toiletten-Systems“ ist die Geräuschreduktion während des Spülens der Toilette, durch eine Regelung der Druckdifferenz zwischen Toilettenschüssel und Abwassertank. Bei heutigen Systemen ist diese Druckdifferenz, die das Spülgeräusch maßgeblich beeinflusst, abhängig von der Flughöhe.

Zu Projektbeginn wurden theoretische Betrachtungen zum VTS vorgenommen, um ein erstes Konzept zur Geräuschreduktion zu erstellen, welches schrittweise ausdetailliert und optimiert wurde. Das finale Konzept besteht aus einem Vakuumbrecher und einer druckabhängigen Drossel, welche bei einer höheren Druckdifferenz schließt (vgl.: Abbildung 6-52). Der Vakuumbrecher

soll den Druck im Tank durch Einleitung von Kabinenluft in den Tank erhöhen. Die druckabhängige Drossel, realisiert durch ein Quetschventil, soll den Luftverbrauch im stationären Zustand begrenzen, aber auch ein schnelles Entlüften des Tanks nach dem Spülvorgang ermöglichen.

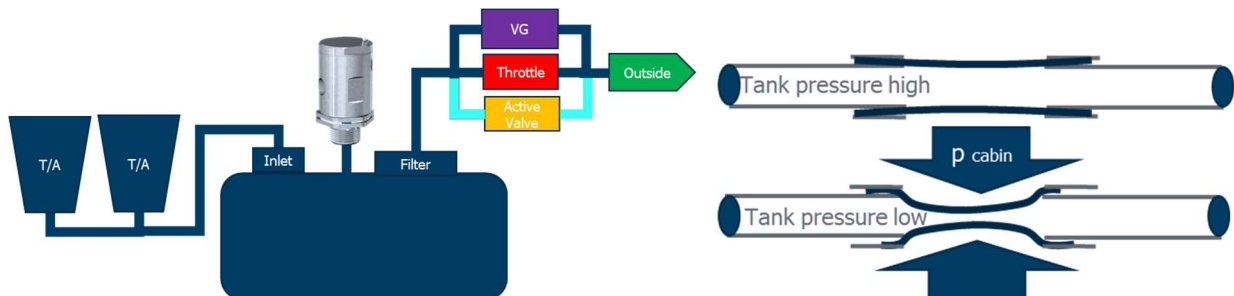


Abbildung 6-52 Konzept für druckgeregeltes VTS mit Vakuumbrecher (links) und druckabhängige Drossel (rechts)

Aus diesen Betrachtungen wurden Parameter und erste Spezifikationen für Vakuumbrecher und Quetschventile für die Beschaffung kommerzieller Komponenten abgeleitet. Die ausgewählten Komponenten sind in Abbildung 6-53 dargestellt. In Vorversuchen wurde das Verhalten der verschiedenen Komponenten mittels Druckluft erprobt. Bei den Quetschventilen wurde der Öffnungsgrad in Abhängigkeit des Steuerdruckes aufgezeichnet; bei den Vakuumbrechern wurden die Steuerdrücke erprobt und auf den gewünschten Zielwert eingestellt.



Abbildung 6-53 Beschaffte Komponenten mit Adapterlösungen

Als Referenz wurde mit dem nicht modifizierten VTS eine Schallpegelmessung bei verschiedenen Unterdrücken im Waste Tank (WT) vorgenommen, um das Potenzial der Geräuschreduzierung zu ermitteln. Die Schallpegel-Referenzkurve ist in Abbildung 6-54 dargestellt.

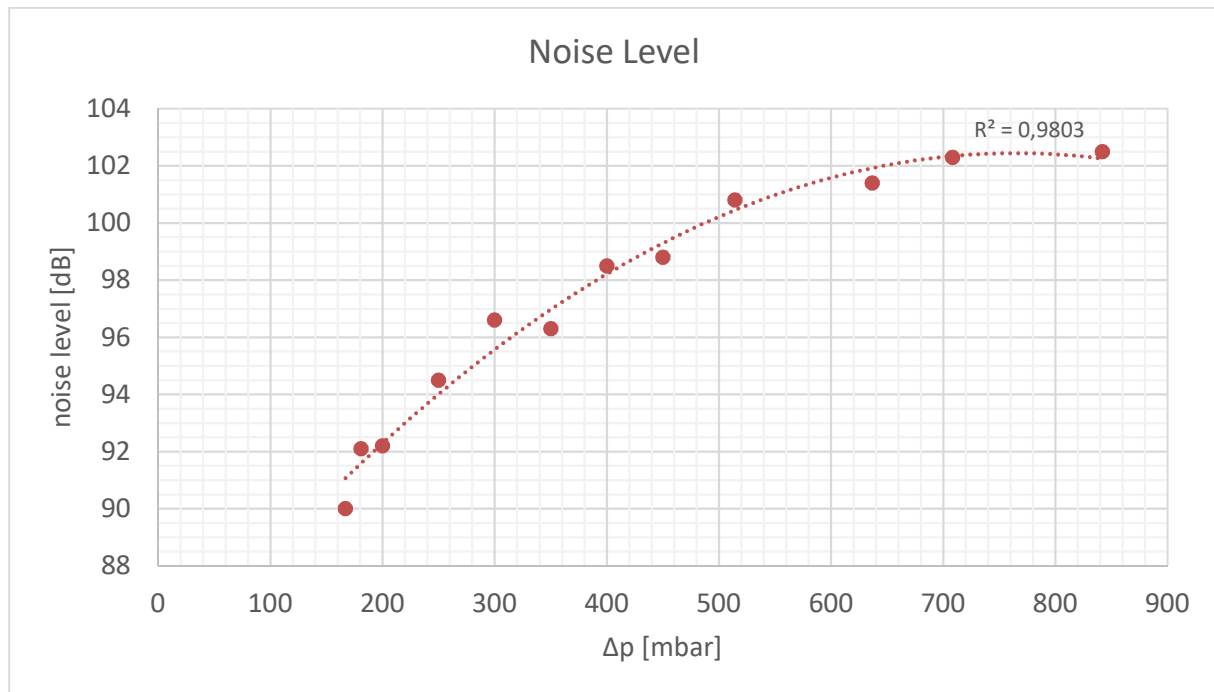


Abbildung 6-54 Referenzmessung am nicht modifizierten VTS

In Reiseflughöhe (ca. 640mbar Druckdifferenz) bewirkt der Spülvorgang einen Schallpegel von ca. 102dB. Falls die Druckdifferenz auf 200-300mbar abgesenkt werden kann, lässt sich auch der Schallpegel um 6-8dB absenken. Der Druckverlauf des nicht modifizierten VTS bei 640mbar (Reiseflughöhe) ist in Abbildung 6-55 zusammen mit einer Referenzkurve bei 250mbar Druckdifferenz dargestellt,

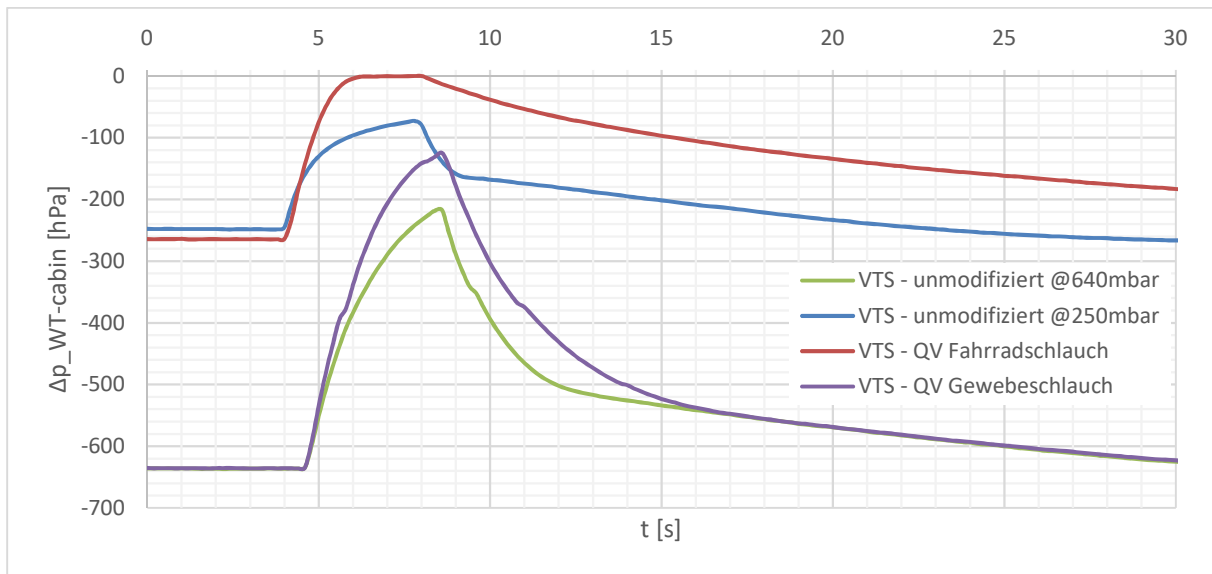


Abbildung 6-55 Druckverläufe verschiedener VTS-Konfigurationen mit der nicht modifizierten Referenzkurve in grau

Zum Testen der Komponenten wurden Eingriffspunkte in das bestehende VTS-Testrig identifiziert, ein Versuchsplan erstellt und notwendige Modifikationen am Testrig vorgenommen. Die kommerziellen Quetschventile und Vakuumbrecher konnte anschließend in das VTS Testrig integriert werden. Abbildung 6-56 zeigt das VTS-Testrig mit dem Vakuumbrecher und dem Quetschventil.

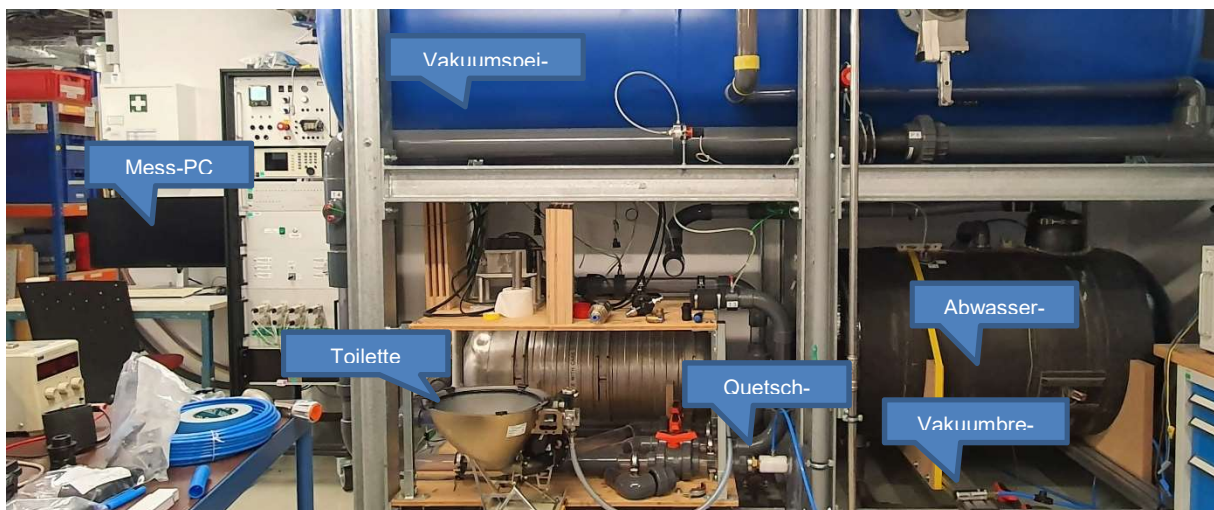


Abbildung 6-56 VTS-Testrig mit Modifikationen

Aus den Versuchen mit den kommerziellen Komponenten wurde eine Kombination aus Quetschventil und Vakuumbrecher ermittelt, mit der eine statische Erhöhung des Drucks im WT möglich war. Diese führte wiederum zu einer Reduktion des Toilettenspülgeräusches. Im dynamischen Betrieb zeigte sich allerdings, dass der WT-Druckausgleich nach dem Spülvorgang z.T. länger

als 60s dauerte (Abbildung 6-56, orange Kurve). Dies wäre für den realen Betrieb aufgrund der entstehenden Wartezeit zwischen zwei Spülvorgängen inakzeptabel.

Als Ansatz zur Lösung des Druckausgleich-Problems nach dem Spülen wurden nichtkommerzielle, selbst-hergestellte Quetschventile getestet. Hierzu wurden verschiedene flexible Schläuche evaluiert. Beispiele sind in Abbildung 6-57 dargestellt.



Abbildung 6-57 Links: Quetschventil aus gewebeverstärkter Schlauchtülle inkl. Detailansicht Querschnitt; rechts: Quetschventil aus Fahrradschlauch

Der gewebeverstärkte Schlauch erwies sich als sehr schwache Drossel aufgrund des relativ großen Querschnitts. Dies ist zwar förderlich für die dynamische Performance (Druckausgleich nach Spülvorgang), sorgte jedoch lediglich für eine Druckerhöhung durch den Vakuumbrecher im WT von ca. 10mbar. Die Druckverlaufskurve ist in Abbildung 6-55 aufgetragen.

In der nächsten Iteration wurde ein Fahrradschlauch mit einem kleineren Durchmesser und höherer Flexibilität getestet. Dieses stellte einen Kompromiss aus einstellbarer Druckerhöhung und

dynamischem Verhalten dar, wenn auch der Druckausgleich nach dem Spülvorgang eine Abweichung gegenüber heutigen Standardtoiletten aufweist. In Abbildung 6-55 ist die Drosselung – im Vergleich zum nicht modifizierten VTS bei 250mbar – leicht zu erkennen.

Insgesamt wird auf Basis der Ergebnisse eine mögliche Verwertung innerhalb eines Folgeprojekts zu diesem Zeitpunkt positiv bewertet.

Teilarbeitspaket 3.2.5: Optimierte Raumausnutzung mit neuartigen Wassersystemen

Zusammen mit dem Projektpartner Diehl Aviation Hamburg (DAH) wurde zu Beginn im Teilarbeitspaket 3.2.5 der IST-Zustand unter dem Waschtisch analysiert, um auf dieser Basis zukünftige Verbesserungen zu evaluieren. Zwei grundlegende Systeme können unterschieden werden: (i) mit mechanischem Wasserhahn und integriertem Mischer und (ii) mit elektrischem Wasserhahn (z.B. berührungslosen Wasserhahn) und getrenntem Mischer. Abbildung 6-58 fasst die wichtigsten Wassersystemkomponenten sowie Wasserleitungen für beide Systeme zusammen.

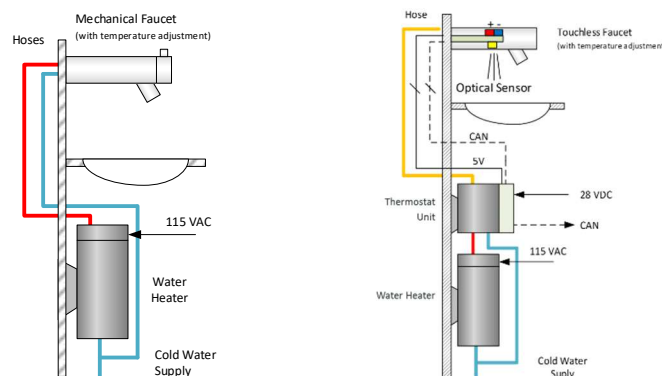


Abbildung 6-58 IST-Zustand unter dem Waschtisch für konventionelle Frischwassersysteme mit mechanischem Wasserhahn (links) und elektrischem Wasserhahn (rechts).

Ausgehend vom Ist-Zustande konnte festgestellt werden, dass es derzeit keine technische Lösung für einen Wasserheizer mit integriertem Mischventil (Mixer) gibt. Die Kombination dieser beiden Komponenten in Zusammenspiel mit dem gemeinsamen Controller birgt ein großes Platzersparungspotential. Die folgenden drei Kombinationsmöglichkeiten konnten identifiziert werden (vgl. Abbildung 6-59):

1. Kombination von Controller und Wasserheizer
2. Kombination von Wasserheizer, Mischer und Controller mit außen liegender Kaltwasserleitung
3. Kombination von Wasserheizer, Mischer und Controller mit integrierter Kaltwasserleitung

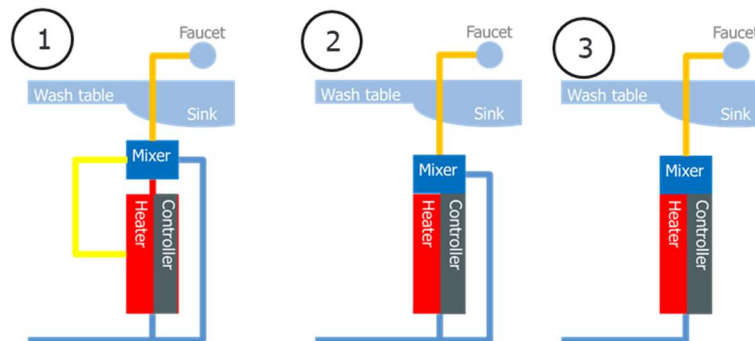


Abbildung 6-59 Kombinationsmöglichkeiten von Wasserheizer, Mischer und Controller

Für die Szenarien 1 und 3 konnten folgende konkreten Einsparungspotentiale unter dem Waschtisch abgeleitet werden. Diese sind:

- Vereinigung von Mischventil und Wasserheizer: Verkürzung der Leitungslängen zwischen Wasserheizer und Mischventil)
- Integration der Kaltwasserleitung in den Wasserheizer: Verkürzung Leitungslänge Kaltwasserleitung

Der Partner DAH verdeutlicht in seinem Bericht beide Einsparpotentiale in Form von CAD-Darstellungen. Mit dem Ziel, dieses Konzept in eine möglichst große Anzahl an Lavatory Monumente zu integrieren, wurden zusammen mit DAH die Situation unter dem Waschtisch für eine Integration des neuen Wasserheizers aufgenommen.

Ergänzend zur Integrationsuntersuchung wurde im Folgenden, vergleichend zur bisherigen Situation unter dem Waschtisch, ein komplettes Konzept des Wassersystems in der Lavatory mit dem neuen Wasserheizer entwickelt. Hierbei ist zu erwähnen, dass das neue Einbauszenario einen Geräteträger beinhaltet, welcher alle Komponenten aufnimmt und in seinen räumlichen Dimensionen in verschiedenste Lavatory-Typen passt.

Abbildung 6-60 (Mitte) zeigt dieses Einbauszenario wie es von DAH als digitale dreidimensionale Abbildung entworfen wurde. DAG stellte für diese Konzepte der Wassersysteme alle notwendigen Spezifikationen und Modelle der gezeigten Komponenten zur Verfügung und war an der finalen Positionierung beteiligt. Insbesondere war DAG in diesem Prozess für die Gewährleistung funktionaler Aspekte (Drainage, Überlauf, Be-/Entlüftung, ...) verantwortlich. Im direkten Vergleich mit der konventionellen Komponentenanzordnung (vgl. Abbildung 6-60(links) und Abbildung 6-60 (Mitte)) wird bereits durch eine visuelle, rein qualitative Beurteilung klar, dass durch das neue Anordnungskonzept Platzzugewinn wie auch Einsparung an Schlauchlängen möglich sind.

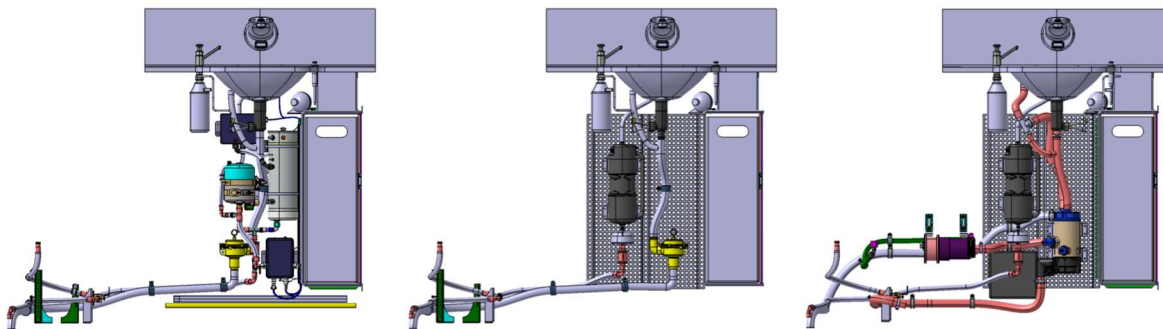


Abbildung 6-60: Einbauszenarien für ein konventionelles Wassersystem unter dem Waschtisch in der Lavatory (links), neues System mit neuem Heizer (Mitte) und neues System inkl. Grauwasserwiederverwendung (rechts).

Der Platzzugewinn erlaubt es, das neue Konzept um weitere neuartige Wassersysteme zu erweitern. In Zusammenarbeit zwischen DAH und DAG wurde folglich ein neues Konzept unter Berücksichtigung eines neuartigen Grauwasser-Wiederverwendungssystems (GWR) erstellt. Abbildung 6-60 (rechts) zeigt das neuartige Wassersystem inkl. des GWR welches aus Grauwassertank sowie Grauwasserpumpe besteht. Für beides stellte DAG Spezifikationen, Modelle sowie Integrationshinweise zur Verfügung. Das entsprechende Design des Grauwassersystems, welches aus dem LuFo 6.2 Projekt „RECAB“ stammt, wurde im Verbundprojekt nur zur Verdeutlichung des freigewordenen Platzes unter dem Waschtisch verwendet.

Basierend auf den neuen Konzepten aus Abbildung 6-60 wurde eine Berechnung des Gesamtgewichtes der Wassersysteme durchgeführt. Hierfür wurde zuerst ein Betrachtungsrahmen festgelegt, welcher folgende Kategorien beinhaltet: Schläuche, LWSA-Komponenten, Befestigungen und Fittings. Beispielhaft für das konventionelle Lavatory Wassersystem (Abbildung 6-60) zeigt Abbildung 6-61 das prinzipielle Vorgehen dieser Analyse. Nachdem alle Bestandteile des Wassersystems mit entsprechendem Gewicht erfasst wurden, wurden Sie einer der Kategorien zugeordnet (Abbildung 6-61 (Mitte)). Anschließend wurde das Ergebnis grafisch dargestellt (Abbildung 6-61(rechts)).



Abbildung 6-61 Vorgehen zur Ermittlung des Gesamtgewichtes am Beispiel des konventionellen Lavatory-Wassersystems.

Im Folgenden wurde dieses Vorgehen auch für alle weiteren LWSA-Konzepte aus Abbildung 6-60 angewendet und folgende Zusammenstellung der Gewichtseinsparungen erarbeitet (vgl. Abbildung 6-62). Aus dieser Darstellung wird ersichtlich, dass die LWSA-Komponenten den größten Einfluss auf das Gesamtgewicht des LWSA ausmachen. Weiterhin kann gezeigt werden, dass durch das neue Wasserheizer-Konzept mit integriertem Wassermischer insgesamt ca. 4kg eingespart werden können.

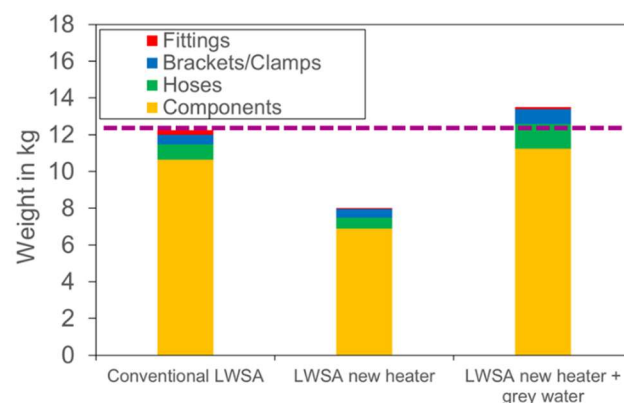


Abbildung 6-62 Gewichtsverteilung der drei verschiedenen LWSA-Konzepte.

Abschließend wurden die konzipierten Komponenten als 3D-gedruckte Designmodelle in einer definierten Standardumgebung unter dem Waschtisch integriert um somit ein konkretes Einbauszenario an einem 1:1 Demonstrator umgesetzt (vgl. Abbildung 6-63).

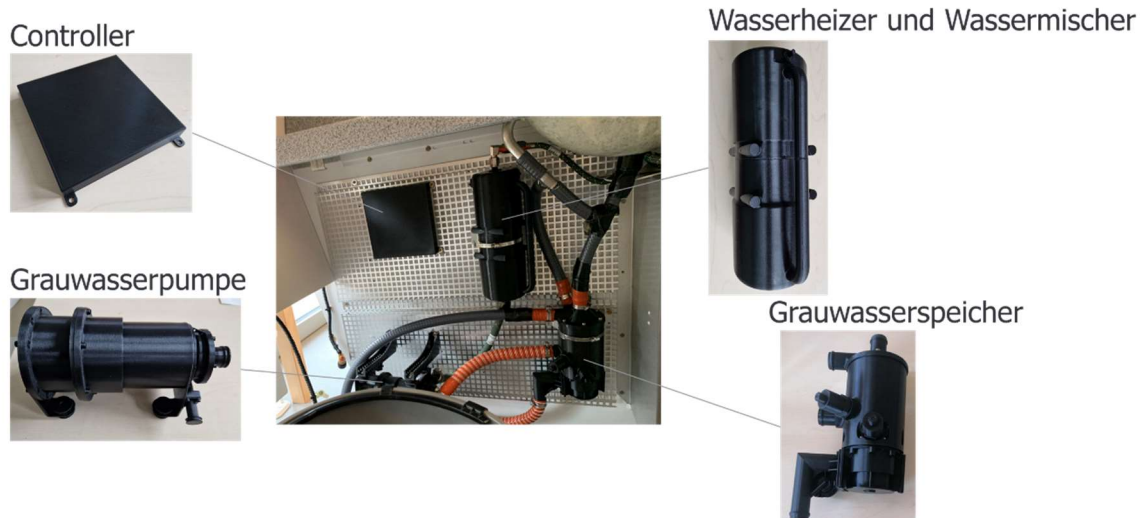


Abbildung 6-63 Demonstrator des neuen LWSA-Konzeptes mit 3D Drucken des integrierten Wasserheizers und Wassermischers sowie des Grauwassersystems unter dem Waschtisch.

6.3.3 Arbeitspaket 3.3: Galley Luftkühlsysteme

Teilarbeitspaket 3.3.1: Airtaxi ARU

Im Teilarbeitspakete 3.3.1 „Airtaxi ARU“ wurde die ARU Technologie für den Einsatz im neuen Marktsegment der Lufttaxi Kabinen-Klimatisierung untersucht und weiterentwickelt. Der Flugzeugtyp der elektrischen Lufttaxi benötigt eine Kühlleistung von ca. 2 kW - 10 kW (je nach Größe). Das Hauptziel der Entwicklung war, eine Systemauslegung für ein möglichst niedriges Gewicht zu erreichen (< 30 kg für 2,5 kW Kühlleistung bei Umgebungstemperatur).

UAP3.3.1.1 Anforderungen

Im ersten Schritt wurden die Anforderungen an ein solches Klimasystem gesammelt, um das System auslegen zu können. Folgende Randbedingungen wurden definiert:

- Als repräsentatives „Hot Climate“ Szenario wurde das Klima in „Dubai“ festgelegt.
- Singapore erfordert den Umgang mit hoher Luftfeuchtigkeit
- Klimaraum Mitteleuropa, erfordert zusätzlich eine aktive Heizung für kaltes Wetter

Anhand von exemplarischen Lufttaxi Designrandbedingungen eines Zweisitzers (Fensterfläche, Wärmestrahlungsübertragung, Wandflächen mit Wärmeisolationen, Wärmequellen Elektronik und Personen) konnte für jedes Klimaszenario eine notwendige Kühl- und Heizleistung errechnet werden, die für ein definiertes Kabineninnenklima notwendig ist.

Ergebnisse:

- Die höchste Kühlleistung erfordert das Dubai-Klima, Eine notwendige Kühlleistung von ca. 2,6 KW wurde ermittelt.
- Für Singapur muss die Drainage des kondensierten Wassers konstruktiv berücksichtigt werden, die erforderliche Kühlleistung ist jedoch nicht höher als für Dubai.

- Für Mitteleuropa wird eine zusätzliche Heizung benötigt. Diese Heizung soll auch bei nasskalter Witterung für eine Luftentfeuchtung sorgen (gleichzeitiges Herunterkühlen zur Entfeuchtung mit anschließendem Aufheizen), um das Beschlagen der Fenster zu verhindern.

Eine elektrische Heizleistung von 1kW wurde als ausreichend definiert.

UAP3.3.1.2 Gesamt System Auslegung

Die wesentliche Anforderung für den Einsatz eines Kühlsystems in Lufttaxi ist systembedingt ein minimales Gewicht, da die benötigten Batterien für den elektrischen Antrieb die mögliche Zuladung des Fluggerätes erheblich begrenzen. Mehrere Kühlerhersteller wurden mit den benötigten Kenngrößen angefragt und auf eine gewichtsoptimierte Auslegung der Kühler hin bewertet. Basierend auf den verfügbaren Komponenten (Kompressor, Lüfter) und den spezifisch ausgelegten Wärmetauschern wurde ein Gesamtsystem für das Hot-Climate Szenario und ein weiteres System für das europäische Szenario in Bezug auf ein minimales Gesamtgewicht festgelegt.

Da in einem zweisitzigen Lufttaxi wenig Bauraum für eine Klimaanlage zur Verfügung stehen wird, wurde für eine exemplarische Integration in das Fluggerät ein bodennaher und flacher Systemaufbau, wie in Abbildung 6-64 dargestellt, vorgesehen.

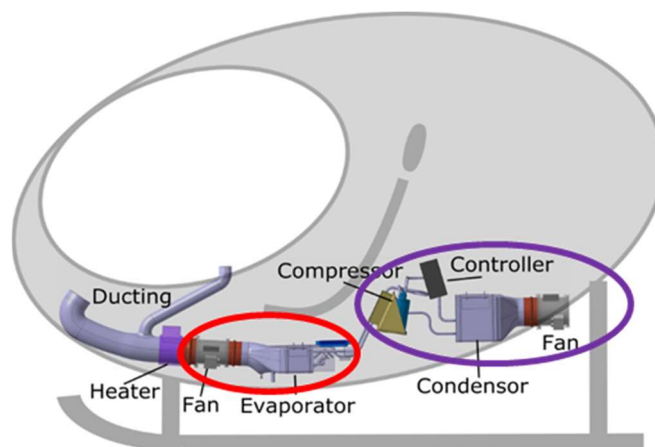


Abbildung 6-64 Konzept für Airtaxi ARU (Rot: Kaltluft-Teil, Lila: Warmluft-Teil)

UAP3.3.1.3 Komponenten Spezifikation

Nachdem die Spezifikation und Auslegung einer ARU Kälteanlage für Lufttaxi durchgeführt wurde, wurde als nächstes die Definition und der Laboraufbau eines solchen Systems für das Hot-Climate Szenario erarbeitet.

Gegenüber konventionellen Luftfahrt-Systemen mit 115 V Wechselspannung wurde der elektrische Anschluss mittels 400 V Hochvolt-Gleichspannungsversorgung geplant. Die elektrischen Komponenten mussten entsprechend neugestaltet werden. Weiterhin musste beim elektrischen

Aufbau neben der Gewichtsminimierung auch berücksichtigt werden, dass das Konzept eine optimale elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) ermöglicht. Verschiedene Aufbauvarianten wurden verglichen und bewertet. Für den ersten Laboraufbau wurde die gesamte Elektronik zur Ansteuerung der vier Motoren und zur Steuerung und Regelung in zwei umgebauten E-Boxen auf Basis der ARU der DAG umgesetzt.

Laboraufbau

Die Kälteanlage wurde auf einem Rollwagen aufgebaut. Dadurch kann die Anlage leicht für Testzwecke in eine Klimakammer transportiert werden.

Neben der räumlichen Aufteilung der Komponenten wurde der nötige Rohrquerschnitt des Kältekreislaufes abhängig von Saug- und Druckseite mit 8 mm bis 10 mm Außendurchmesser berechnet. Die erforderlichen Kältekreislauf-Komponenten wie Akkumulator und Filter wurden integriert. Auf der Kaltluftseite wurde ein Wasserabscheider konzipiert und als Muster aufgebaut und integriert. Auf beiden Luftkreisläufen wurden Luftblenden installiert, um verschiedene Strömungswiderstände der Verrohrung abbilden zu können.

Um den korrekten Parallelbetrieb der zwei Kompressoren prüfen zu können, wurden zwei Durchflusssensoren integriert.

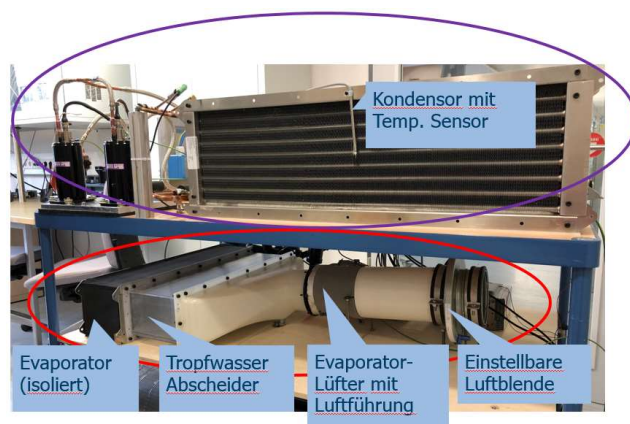


Abbildung 6-65 Laboraufbau (Rot: Kaltluft-Teil, Lila: Warmluft-Teil)

Elektrischer Aufbau

Da die verwendete Elektronik auf ARU Hardware basiert, mussten verschiedene Modifikationen durchgeführt werden: Aus den vorhandenen Geräten wurde die Gleichrichter-Einheit entfernt und im Gegenzug ein Gleichspannungs-EingangsfILTER integriert. Weiter musste die Elektronik für die Ansteuerung von vier Motoren ergänzt und die Schaltung für die Sensoren an die jetzt benötigten Sensortypen (Temperatur, Druck, Durchfluss) angepasst werden.

Die in der E-Box integrierten Motorcontroller wurden mit spannungsfesteren Leistungshalbleitern bestückt, so dass sie mit 400V Nominalspannung betrieben werden können.

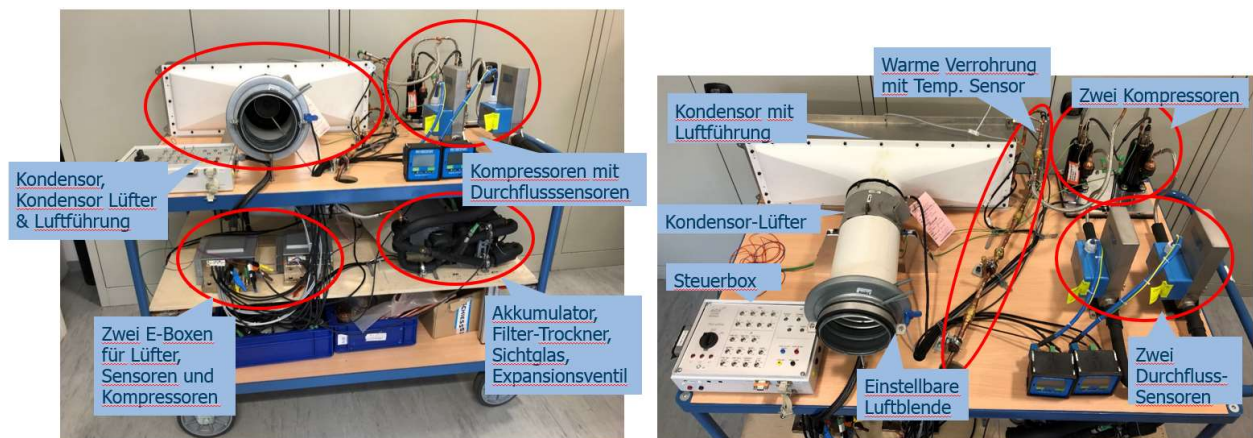


Abbildung 6-66 Laboraufbau mit E-Boxen und Sensoren

Software und Ansteuerung

Für den Laboraufbau wurden verschiedene Software-Modifikationen durchgeführt:

Die Software der Motor-Controller wurde für die Lüfter-Motoren angepasst. Weiterhin wurde ermöglicht, dass mit der CAN-Kommunikation zu der E-Box die Ansteuerung der Motoren und das Auslesen der Sensorwerte ermöglicht wird.

Da eine Anzahl neuer Sensoren mit neuem Schaltungsaufbau eingesetzt wird, wurde das Auslesen und Filter der Sensorwerte sowie die Umrechnung auf physikalische Werte neu programmiert.

Mit der definierte CAN-Kommunikation wurden auf PC-Seite eine neue Ansteuerung der Motoren und die Anzeige aller Sensoren erstellt.

Nach dem Aufbau der Anlage wurde die Kälteanlage Schritt für Schritt in Betrieb genommen.

Nach ersten Tests der Motorcontroller musste die Hardware und Software weiter angepasst werden, um einen stabilen Betrieb der Lüfter auch mit voller Leistung zu ermöglichen. Es waren einige Anpassungen an der Elektronik in Bezug auf die höhere Leistungsklasse des Kondensator-Lüfters nötig und damit einhergehend entsprechende Anpassungen in der Motorsteuerungssoftware.

Design-Verifikationstests

Basierend auf den definierten Anforderungen an das System wurde eine Testspezifikation erstellt. Für die Bestimmung der Leistung der ARU Kälteanlage wurde ein optimiertes Konzept gefunden: Statt einem aufwändigen Aufbau mit Volumenstrommessung in einer Klimakammer werden die Einlasstemperaturen beim Kondensator über einen zusätzlichen Heizer erzeugt. Der Aufbau kann dabei in normaler Labor-Umgebung stehen bleiben. Weiter wird der Volumenstrom indirekt über die gemessene Motorleistung ermittelt. Das ist möglich, da die Lüfter über den gewählten Leistungsbereich eine stetige Kennlinie über Volumenstrom und Leistungsaufnahme aufweisen. Für die genaue Festlegung dieser Kennlinie wurde im Rahmen der Testkampagne der Aufbau von Verdampfer und Kondensator jeweils einzeln über einen Lüfterprüfstand in der Kennlinie vermessen.

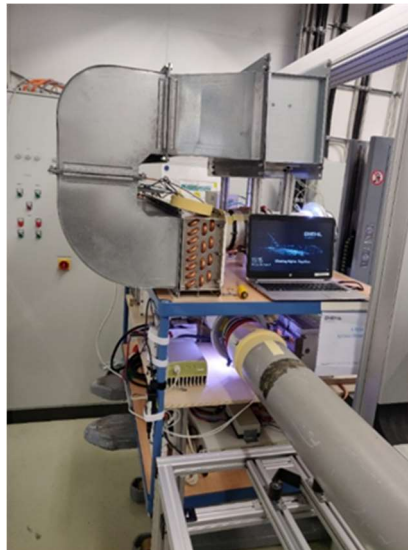


Abbildung 6-67 Verdampfer Auslass mit aerodynamischem Teststand verbunden;
oben zu sehen: Kondensator mit Heizer und zugehöriger Luftführung

Testergebnisse

Alle Tests wurden durchgeführt und umfangreich dokumentiert. Nachfolgend soll nur eine Zusammenfassung der relevanten Erkenntnisse erfolgen. Der Laboraufbau hat erwartungsgemäß funktioniert.

Bei einem Test zeigte sich, dass der Kältemittelfluss beim gleichzeitigen Betrieb beider Kompressoren deutlich geringer war als die Summe der Flüsse beim einzelnen Betrieb der Kompressoren. Dies deutet auf eine ineffiziente Verrohrung des Kältemittels hin:

Tabelle 6-2 Effizienz des Doppelkompressorbetriebes

Speed [RPM]	Total sum of Fluid Flow [kg/min] - Single operation mode	Total sum of Fluid Flow [kg/min] - Dual operation mode	Efficiency of the dual vs. sum of the individual opera- tion mode
2000	0.66	0.52	79 %
4000	1.14	0.86	75 %
6500	1.57	1.10	70 %

Effektive Kühlfläche: Dieser Test dient dazu, die Dimensionierung der Wärmetauscher zu überprüfen. Anhand einer Wärmebildkamera wird erkannt, ob alles Kältemittel bei voller Leistung verdampft oder kondensiert ist. Im vorliegenden Testaufbau ist dies für beide Kühler erfüllt. Sie haben sogar noch eine gewisse Leistungsreserve.

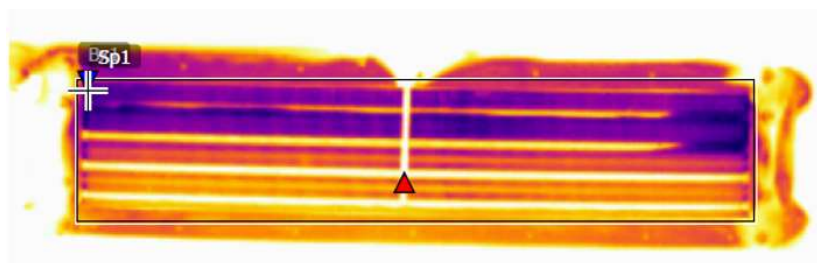


Abbildung 6-68 Thermografie des Verdampfers (Dunkel entspricht kalt)

Als weiterer wichtiger Punkt wurde die Ausführung der Luftführung geprüft, d.h. ob der Wärmetauscher gleichmäßig und großflächig durchströmt wird. Dazu wurden Messpunkte festgelegt und mit einem Hand-Anemometer der Luftstrom lokal gemessen: Der Luftstrom war nicht ideal, aber ausreichend gut verteilt.

Tabelle 6-3 Luftstrom-Messwerte des Kondensators bei 5000 rpm

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1,1	1,4	1,5	1,7	1,8	1,8	1,9	1,8	1,8	1,7	1,4	1,5	1	0,9
2	1	0,8	1,1	1,1	1,2	1,4	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,2	0,9	1
3	1,1	1	0,9	1,2	1,3	1,5	1,4	1,6	1,6	1,4	1,3	1,2	1	1
4	1,3	1	1,1	1,2	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,4	1,4	1,1	1	1,1
5	1,2	1	1,2	1,4	1,4	1,6	1,5	1,7	1,6	1,4	1,3	1,1	1,1	1,1

Für den Test des Tröpfchenabscheiders wurde Luft aus einer Klimakammer mit 30,5 °C / 70 % rH angesaugt. Bei dem Test des Tröpfchen-Abscheiders zeigte sich eine eklatante Design-Schwäche. Bei geringer Luftströmung (200 rpm) wurden über den definierten Zeitraum 675 ml Wasser gesammelt, wogegen bei voller Leistung mit 11000 rpm gar kein Wasser mehr gesammelt werden konnte und alles Wasser im Rohrsystem verblieb.

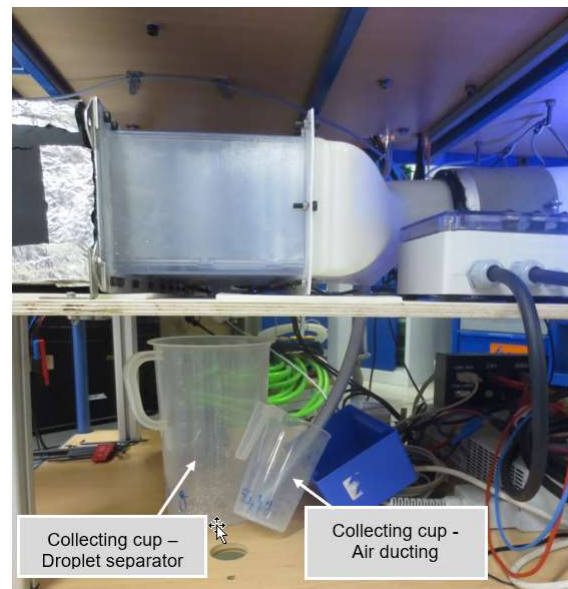


Abbildung 6-69 Aufbau Tröpfchen-Abscheider Test

Eine Analyse zeigte, dass bei voller Leistung der Unterdruck im System so stark war, dass das abgesonderte Wasser nicht mehr drainiert werden konnte. Im Nachgang wurde ein weiterer Test durchgeführt, bei dem eine Art Siphon genutzt wurde, um eine Drainage unter Unterdruck zu ermöglichen. In diesem Nachtest hat der Wasserabscheider dann erfolgreich funktioniert. Für den nächsten Aufbau wurde daher das Drainagekonzept überarbeitet.



Abbildung 6-70 Siphon-Konzept bei Nachtest

Zuletzt wurde die Kühlleistung in verschiedenen Umgebungsbedingungen getestet. Hier zeigte sich, dass unter normalen Umgebungsbedingungen (20 - 25 °C) die errechnete Kühlleistung von 2,5 kW erfolgreich erreicht werden konnte. Bei einer Umgebungstemperatur von 32 °C konnte die Kühlleistung von über 2,1 kW erreicht werden. Erst bei der Umgebungstemperatur von 42 °C musste die Kompressorleistung reduziert werden, da ansonsten die Kompressoren überlastet gewesen wären. Trotzdem konnte noch eine Kühlleistung von über 1,8 kW erreicht werden. Mit verbesserter Kälteverrohrung sollte ein Betrieb unter Vollast möglich sein.

Zusammenfassung der Testergebnisse des ersten Labormusters

Die Testkampagne verlief sehr erfolgreich. Es konnten Schwächen im Aufbau identifiziert werden und es konnten Verbesserungsmöglichkeiten aufgezeigt werden. Diese wurden auch teilweise gleich umgesetzt. Weiter zeigte sich, dass die konzipierte Systemleistung sehr gut mit der getesteten Kühlleistung übereinstimmt und damit das Berechnungskonzept valide ist.

Optimierter Laboraufbau

Um die Gewichtseffizienz der Airtaxi ARU weiter zu erhöhen wurden optimierte Wärmetauscher beschafft und integriert. Für den in der Größe angepassten Wasserabscheider wurde ein neues Drainagekonzept entwickelt, da bei dem Siphon-Konzept immer ein Teil Wasser im System stehen bleibt, was bei längerer Standzeit zu Verkeimung führen könnte. Weiterhin wurde die Kältemittelverrohrung verbessert. Durch die gewichtsoptimierten Wärmetauscher konnte das Gesamtgewicht um 7,8 kg reduziert werden. Nach der Inbetriebnahme der Anlage erfolgte eine zweite Testkampagne.

Design-Verifikationstests mit Ergebnissen

Vom ursprünglichen Testumfang wurden alle Tests wiederholt, die von dem Umbau betroffen waren. Nachfolgend werden nur die relevanten Erkenntnisse aufgezeigt.

Bei einem Test zeigte sich, dass der Kältemittelfluss beim gleichzeitigen Betrieb beider Kompressoren deutlich geringer war als die Summe der Flüsse beim einzelnen Betrieb der Kompressoren. Trotz einer verbesserten Rohrführung (Y-Stück statt T-Stück) ist nach dem Umbau der maximale Durchfluss stärker abgefallen als beim vorherigen Aufbau. Ein Grund könnte die geänderte Verrohrung in den Wärmetauschern sein (sogenannte „Microchannel“ statt Kupferrohr).

Tabelle 6-4 Effizienz des Doppelkompressorbetriebes mit neuen Wärmetauschern

Speed [RPM]	Total sum of Fluid Flow [kg/min] - Single operation mode	Total sum of Fluid Flow [kg/min] - Dual operation mode	Efficiency of the dual vs. sum of the individual operation mode
2000	0.582	0.481	83%
4000	0.99	0.684	69%
6500	1.266	0.802	63%

Der Test der Effektive Kühlfläche dient dazu, die Dimensionierung der Wärmetauscher zu überprüfen. Anhand einer Wärmebildkamera wird erkannt, ob alles Kältemittel bei voller Leistung verdampft oder kondensiert ist. Im vorliegenden Testaufbau ist dies für beide Kühler erfüllt. Durch den nicht optimalen Kältemitteldurchfluss kann nicht genügend Kältemittel transportiert werden, daher ist der gezeigte Verdampfer bei Vollast nur ca. hälftig heruntergekühlt. Die aerodynamische Dimensionierung des Wärmetauschers erscheint daher in Bezug auf die Ergebnisse des Kühlleistungs-Tests korrekt. Bei diesem wurde nämlich die geplante Kühlleistung deutlich unterschritten.

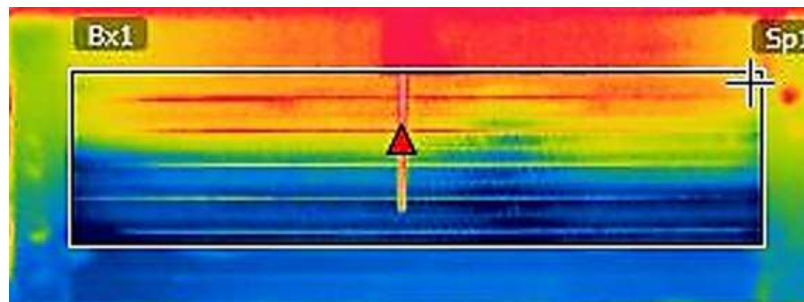
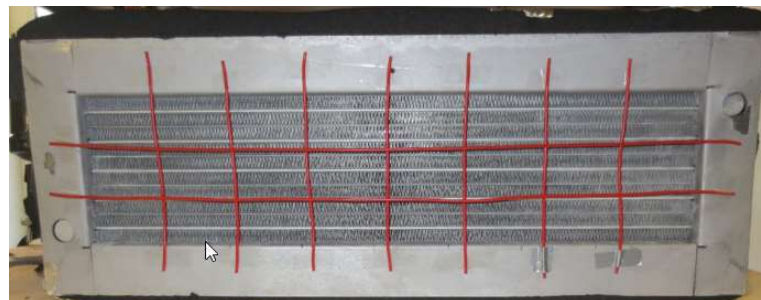


Abbildung 6-71 Thermografie des Verdampfers (Dunkel entspricht kalt)

Als weiterer wichtiger Punkt wurde die Ausführung der Luftführung geprüft, d.h. ob der Wärmetauscher gleichmäßig und großflächig durchströmt wird. Dazu wurden Messpunkte festgelegt und mit einem Hand-Anemometer der Luftstrom lokal gemessen: Der Luftstrom war ähnlich wie bei der vorherigen Ausführung nicht ideal, aber ausreichend gut verteilt.



	1	2	3	4	5	6	7	8
1	3,3	3,7	3,8	3,5	3,1	2,9	2,6	2,6
2	3,8	4,3	4,8	4,9	4,4	4,5	3,6	3,6
3	3,5	4,1	4,3	4,5	4,5	4,8	4,3	4,5

Abbildung 6-72 Luftstrom-Messwerte des Verdampfers bei 11000 rpm

Der erneute Test des nun überarbeiteten Tröpfchenabscheiders unter gleichen klimatischen Bedingungen zeigte eine gute Funktion bis zu einer Drehzahl von 9000 rpm. Bei der Maximaldrehzahl von 11.000 rpm wiederum versagte der Wasserabscheider. Grund war hierfür, dass mit Änderung des Wärmetauschers sich der Unterdruck an der Stelle des Wasserauslasses weiter erhöhte. Der Wasserauslass des Wasserabscheiders war für einen geringeren Unterdruck ausgelegt. Durch eine Verlängerung des Wasserauslasses nach unten hin könnte die volle Funktion wiederhergestellt werden. Das gewählte Funktionsprinzip hat sich bewährt; die jetzige Konstruktion lässt sich komplett drainieren (kein dauerhaft stehendes Wasser).

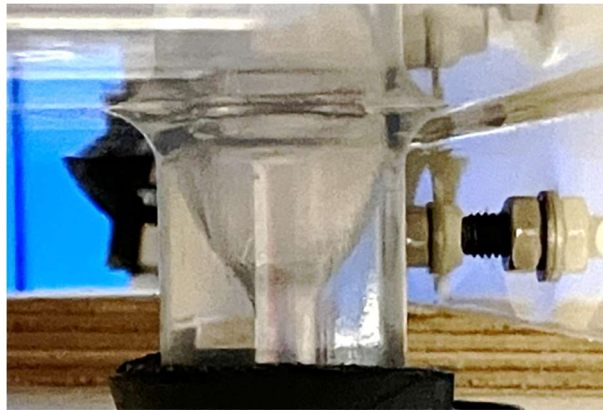


Abbildung 6-73 Neugestalteter Tröpfchenabscheider-Wasserauslass

Die Kühlleistung wurde in verschiedenen Umgebungsbedingungen getestet.

Dabei zeigte sich, dass mit den neuen Kühlkörpern die bisherige Kühlleistung bei weitem nicht mehr erreicht werden konnte. Beim Test unter normalen Umgebungsbedingungen (20 - 25 °C) wurde maximal eine errechnete Kühlleistung von 1,14 kW erreicht, was weniger als die Hälfte der mit dem alten Aufbau erzeugten Kälteleistung ist. Die Tests bei erhöhten Umgebungstemperaturen wurden mit einer gegenüber der ersten Testkampagne geänderten Testumgebung durchgeführt, so dass die Ergebnisse nicht direkt vergleichbar sind. Auch hier zeigte sich beim neuen Aufbau, dass die konzeptionierte Kälteleistung nicht erreicht wird: Als maximale Kühlleistung wurden 1,75 kW erreicht, die aber nicht dauerhaft aufrecht erhalten wurden.

Zusammenfassung der Tests des zweiten Labormusters:

Die zweite Testkampagne verlief nicht voll zufriedenstellend:

Der Tröpfchenseparator funktionierte nicht bei Vollast, wobei hier Ursache und notwendige Korrekturmaßnahme schnell identifiziert werden konnten und damit das gewählte Konzept bestätigt werden konnte.

Die gewünschte Kälteleistung konnte bei weitem nicht erreicht werden. Eine Ursache konnte im Rahmen der Projektlaufzeit nicht mehr gefunden werden. Es stehen mehrere mögliche Ursachen der Kältemittelführung im Raum, die im Nachgang noch bewertet werden sollen.

Teilarbeitspaket 3.3.2: Aktive Geräuschunterdrückung

Im Rahmen von TAP 3.3.2 wurden Maßnahmen zur Reduktion von Betriebsgeräuschen, die durch die Kühlgeräte (ARU) in der Galley entstehen, untersucht und implementiert. Im Vordergrund standen dabei Maßnahmen zur aktiven Geräuschunterdrückung wie z.B. aktiver Gegen-schall, der durch eine Anregung der Struktur erzeugt wird, da dieser eine besonders bauraumoptimierte Lösung verspricht. Die Methodenentwicklung für Konzepte zur aktiven Geräuschunterdrückung erfolgte maßgeblich beim Projektpartner DLR.

Die Problemanalyse zu Beginn des Projektes hat jedoch gezeigt, dass im Sinne einer ganzheitlichen Zielerreichung auch weitere Aspekte zur Geräuschreduktion betrachtet werden müssen. Dazu zählen die Vermeidung von Lärm durch Modifikationen in der ARU selbst bzw. durch Veränderung derer Betriebsparameter sowie passive Schalldämpfungsmaßnahmen (vgl.: Abbildung 6-74). Eine Kombination von aktiven und passiven Maßnahmen ist auch deshalb sinnvoll, da aktive Maßnahmen besonders im Bereich niederfrequenter Schallemissionen wirksam sind, während passive Maßnahmen im höherfrequenten Bereich zum Tragen kommen.

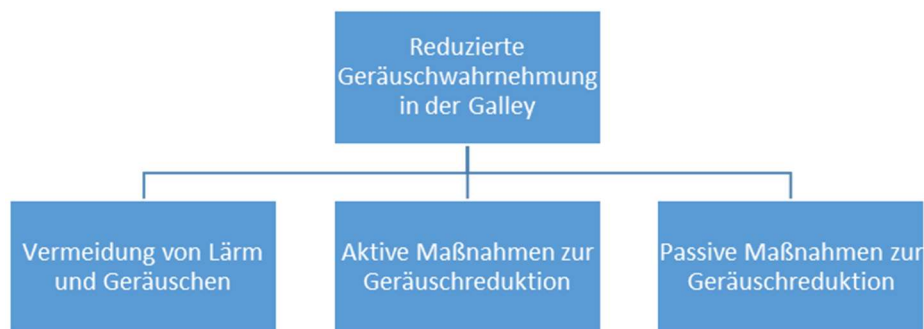


Abbildung 6-74 Problemanalyse und Gliederung der Aktivitäten

Im Rahmen der Anforderungsklä rung im Projekt wurde festgelegt, die anzuwendenden Messmethoden und Grenzwerte an den Spezifikationen der OEM anzulehnen. Dies stellt die Praxisrelevanz der Ergebnisse sicher und ermöglicht eine spätere Verwertung der umgesetzten Maßnahmen und Ergebnisse.

Zur Reduzierung der ARU Betriebsgeräusche wurden drei Maßnahmen identifiziert. Zum einen wurden im Bereich des Kompressors starre Kühlmittleitungen durch flexible metallische Schläuche ersetzt. Von dieser Maßnahme wurde eine Geräuschreduktion im Frequenzbereich von 125-250 Hz erwartet (Eigenfrequenz des Kompressormotors). Abbildung 6-75 zeigt den modifizierten Kompressor mit metallischen Schläuchen.



Abbildung 6-75 Modifizierter Kompressor mit Metallschläuchen

Als weitere Maßnahme wurden aerodynamisch optimierte Lüfterräder gestaltet. Diese wurden im Rahmen des TAP 2.1.3 additiv gefertigt (vgl. auch Abbildung 6-22 bzw. Abbildung 6-76). Zunächst wurde das Laufrad mit einer Ummantelung versehen. In einem weiteren Schritt wurde die Schaufelgeometrie neugestaltet. Von der optimierten Schaufelgeometrie wurde eine unmittelbare Verbesserung der Akustik des Lüfters erwartet. Mittelbar könnten durch die verbesserte Aerodynamik zudem theoretisch die Schallemissionen reduziert werden, indem bei gleichbleibender Förderleistung die Drehzahl des Lüfters abgesenkt wird.



Abbildung 6-76 Aeroakustisch optimierte Laufradgeometrien (Mitte u. rechts) im Vergleich zur Ausgangsgeometrie (links)

Als dritte Maßnahme wurde die Wuchtgüte des Kompressorrotors verbessert.

Durch die Anbindung über metallische Schläuche wurde die Geräuschentwicklung im Bereich der Blade Pass Frequency von 65dB auf 60dB gesenkt. Die Schwingungsübertragung über die Aufhängungspunkte wurde um bis zu 6dB reduziert.

Analog konnte durch die verbesserte Wuchtung die Lärmentwicklung im Bereich der Drehfrequenz von 59dB auf 55dB reduziert werden. Zudem wurde die Übertragung der Schwingungen über die Aufhängungspunkte signifikant um bis zu 10dB gesenkt.

Das Laufrad mit Ummantelung führte zu einer erheblichen Reduzierung der Lärmemission durch unterbinden der Schaufelschwingungen. Der Schallleistungspegel bei 2000 bzw. 4000 Hz liegt 10 dB niedriger als bei dem Laufrad ohne Ummantelung.

Beim Laufrad mit angepasster Schaufelgeometrie wurde zunächst die aerodynamische Leistung vermessen. Die aerodynamischen Eigenschaften wurden als sehr gut bewertet und der Gesamtwirkungsgrad konnte im Vergleich zu den herkömmlichen Laufrädern um 6% gesteigert werden. Allerdings muss die Drehzahl des modifizierten Lüfters um 500 U/min erhöht werden, um die äquivalente aerodynamische Leistung der Standardschaufeln zu erzielen. Dabei zeigte sich, dass der Schalldruckpegel der modifizierten Laufräder ca. 5dB über dem der Referenzlaufräder liegt (vgl.: Abbildung 6-77). Die untersuchte Maßnahme war somit nicht erfolgreich.

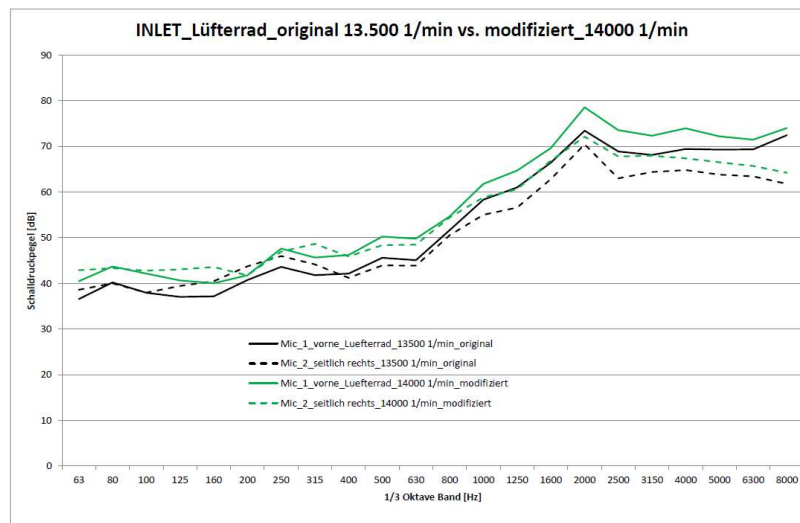


Abbildung 6-77 Vergleich Schalldruckpegel

Für die Arbeiten zur aktiven Geräuschunterdrückung, die federführend durch das DLR erfolgten, wurde eine weitere ARU bereitgestellt (vgl.: Abbildung 6-78). Das Gerät wurde gemeinsam mit den Kollegen des DLR vor Ort in Betrieb genommen und der weitere Versuchsaufbau geplant. Es erfolgt ein regelmäßiger Austausch über Testergebnisse sowie Geräteparameter der ARU, um die Versuchsergebnisse zu interpretieren und die genauen Ursprünge verschiedener Schallemissionen zu identifizieren.

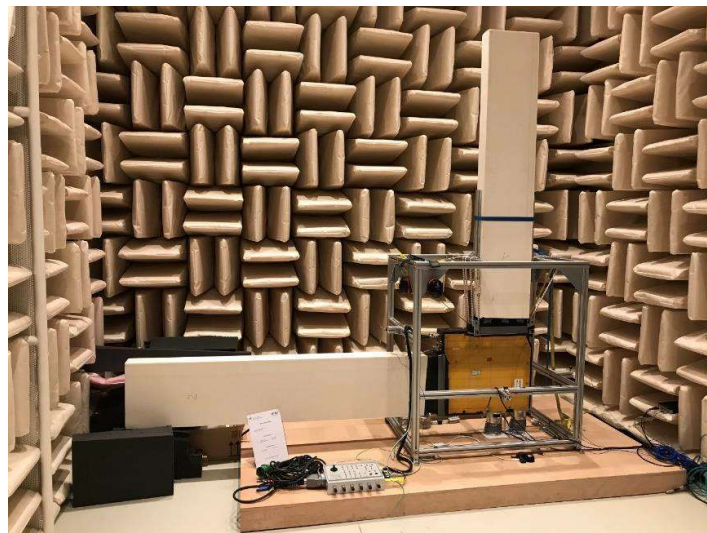


Abbildung 6-78 ARU der DAG im Versuchsaufbau des DLR (Foto: DLR)

Exemplarisch zeigt Abbildung 6-79 passive Maßnahmen zur Geräuschreduktion in Form von Constraint Layer Damping (CLD) auf den Stegen der ARU.



Abbildung 6-79 ARU der DAG mit CLD als passive Geräuschreduktionsmaßnahme (Foto: DLR)

Abbildung 6-80 zeigt Studien zur Positionierung und Parametrierung von Aktuatoren als aktive Maßnahme.



Abbildung 6-80 ARU der DAG mit Aktuatoren zur aktiven Geräuschreduktion (Foto DLR)

An einer isolierten ARU im Labor konnte durch die Maßnahmen der Schalldruckpegel bei einzelnen Frequenzen um mehr als 15 dB reduziert werden. Für eine detaillierte Auswertung der Messungen wird auf den Bericht des DLR verwiesen.

Parallel zu den Messungen hat DAG Szenarien untersucht, wie eine aktive Geräuschunterdrückung in einer ARU integriert werden könnte. Dabei müssen zwei Aspekte betrachtet werden: die Ermittlung der aktuellen Störgröße (Lärmquelle) und die gerätespezifische Einmessung zur Parametrierung der Reglermodelle. Für die Ermittlung der Störgrößen wurden sowohl eine Messung über Mikrofone betrachtet als auch eine indirekte Ableitung z.B. aus Motordrehzahlen. Eine gerätespezifische Einmessung könnte im Rahmen einer ATP durchgeführt werden. Kritischer zu bewerten ist die spezifische Berücksichtigung von Einbaubedingungen. Dies wurde durch weitere Messungen zur aktiven Geräuschunterdrückung, bei denen die ARU in einen realen Galley Unterbau integriert wurde, bestätigt. In dieser Umgebung wurde das Schallübertragungs- und -abstrahlverhalten deutlich komplexer, was zu einem erhöhten Aufwand für die Parametrierung der Modelle und zu einer verschlechterten Effektivität der aktiven Geräuschunterdrückung führte. Für Details wird auf die Berichte der Partner DLR und DAL verwiesen.

Teilarbeitspaket 3.3.3: Kostenoptimierte Luftsysteme für die energieoptimierte Galley

Im TAP3.3.3 "Kostenoptimierte Luftsysteme für die energieoptimierte Galley" wurde die Galley z.B. hinsichtlich ihrer Kälteverluste und die Luftführung hinsichtlich ihrer Druckverluste analysiert. Aus Perspektive der DAG steht in diesem TAP das Zusammenspiel zwischen der Luft Zu- und Abführung mit der ARU im Vordergrund, welches u.a. experimentell untersucht wurde.

An einer bestehenden Galley wurden in Zusammenarbeit mit DAL und mit Unterstützung der DAH Druckverlustmessungen und Volumenstrommessungen an den Luften- und Luftauslässen der ARU (Luftführung der Galley) innerhalb einer Galley durchgeführt (vgl.: Abbildung 6-81). Die Messungen erfolgten bei unterschiedlichen Betriebspunkten der ARU. Am Verdampferauslass wurden nur geringe Druckverluste gemessen, was einen effizienten Betrieb der ARU ermöglicht. Allerdings zeigte sich, dass die Volumenstromverteilung relativ unsymmetrisch erfolgt, d.h. dass die Kaltluft nicht ideal gleichmäßig im Galleyunterbau verteilt wird. Hier besteht weiteres Optimierungspotential, um eine energieeffiziente Kühlung der Speisen auf Galley-Ebene zu ermöglichen. Die Druckverluste in der Kondensatorleitung waren dagegen hoch. Als Ursache konnten insbesondere Kupplungsstücke identifiziert werden. Eine Reduktion dieser Druckverluste ermöglicht einen effizienteren Betrieb der ARU. Die dargestellten Ergebnisse bildeten gemeinsam mit weiteren Analysen die Basis für weitere Arbeiten des Projektpartners DAH.

Für weitere Ergebnisse und Analysen sowie für optimierte Bauweisen der Luftverteilung wird auf die Berichte der DAH bzw. DAL verwiesen.

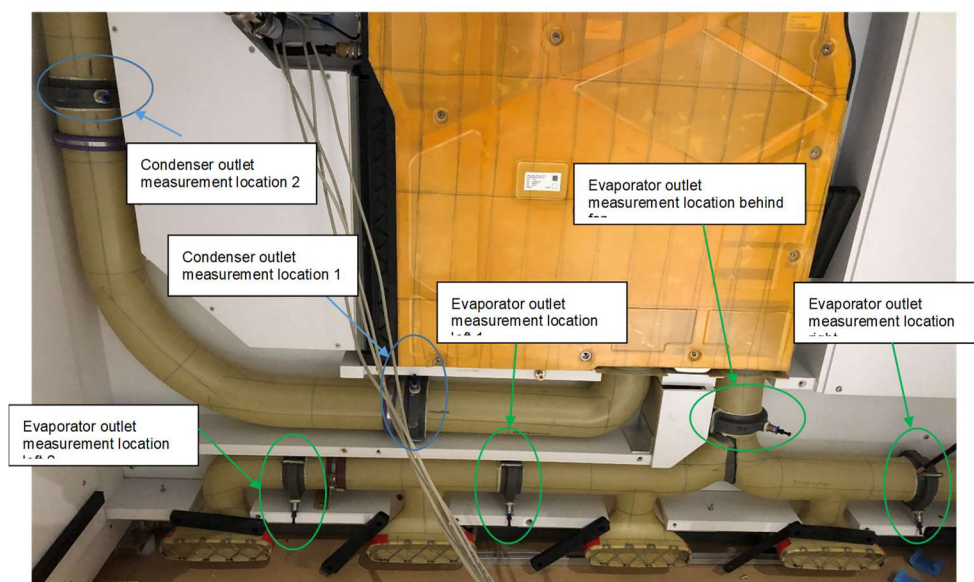


Abbildung 6-81 Druckverlustmessungen an Galley Luftführung

6.3.4 Arbeitspaket 3.4: Katalytisches Not-Sauerstoffsystem

In Passagierflugzeugen erfolgt die Notsauerstoffversorgung im Fall des Druckabfalls in der Kabine durch Chloratkerzen, welche aufgrund der hohen Reaktionstemperaturen (ca. 700 °C) aufwendig zu isolieren und zu integrieren sind. Entwicklungsziel war daher eine neuartige Chemie zur Sauerstoffentwicklung mit Reaktionstemperaturen unter 150 °C in Verbindung mit dem Potential für Kosten- und Gewichtseinsparungen durch neuartige Isolations- und Integrationskonzepte. Hierfür sollte ein chemisches Kit bestehend aus einer Sauerstoffquelle, einem Reaktionsmedium (z.B. ionische Flüssigkeit), Katalysatoren und ggf. weiteren Additiven entwickelt werden. Dieses sollte befähigt sein, ein definiertes Sauerstoffflussratenprofil im Temperaturbereich von -15 °C bis +55 °C einzuhalten und ferner bei -40 °C sowie +71 °C für 10 Minuten Sauerstoff zu liefern. Extreme Temperaturbedingungen (-50 °C, +85 °C) sollten vom System schadfrei überstanden werden. Während im TAP 3.4.1 die notwendige Chemie untersucht werden sollte, zielte TAP 3.4.2 auf neuartige Integrationsmöglichkeiten ab.

Teilarbeitspaket 3.4.1: Katalytische Notsauerstofferzeugung

Nachdem die ursprüngliche ausgewählte Sauerstoffquelle UHP aufgrund des vertretbaren Systemgewichts aus dem Projekt ausschied, wurden alternative Sauerstoffquellen wie anorganische (Per)Chlorate, Peroxide und Superoxide untersucht. Da sich eine geeignete Reaktionskontrolle abzeichnete, wurden unter anderen intensiveren Studien mit Kaliumsuperoxid als Sauerstoffträger durchgeführt.

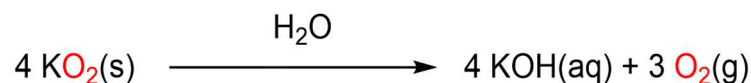


Abbildung 6-82 Grundreaktion zur Sauerstofffreisetzung

Mittels verschiedener Tablettendurchmesser sowie unterschiedlicher Presskräfte und Pressprogramme konnte festgestellt werden, dass sich dies auf die Gestalt des Flussratenprofils nur marginal auswirkte, jedoch signifikant auf die Reaktionsdauer sowie die erzielbaren Flussraten (vgl.: Abbildung 6-83).

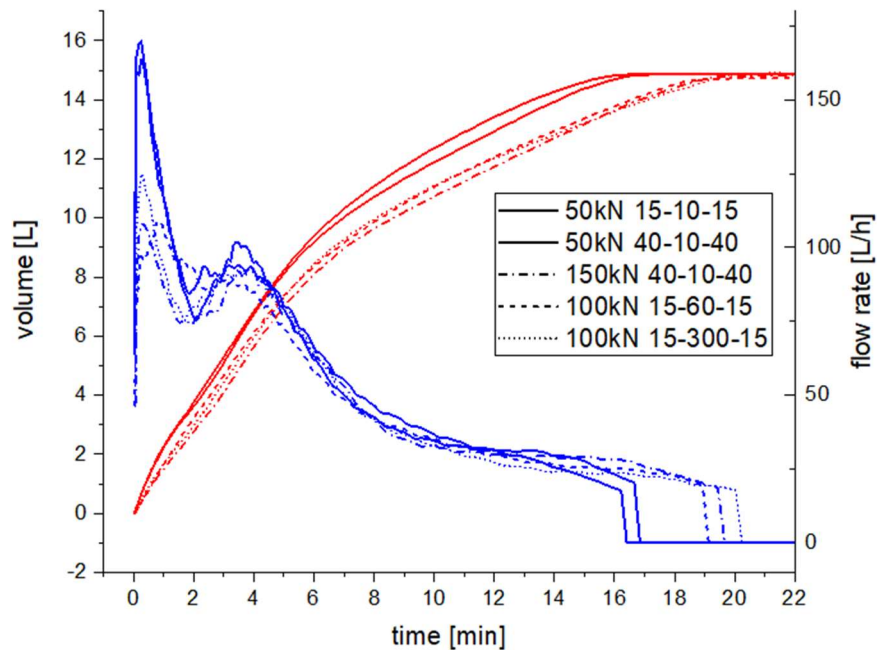


Abbildung 6-83 Sauerstoff-Flussratenprofil in Abhängigkeit von Pressprogramm und Presskraft

Da die Grundreaktion (Abbildung 6-82) als Reaktionsprodukt Kaliumhydroxid bzw. Kalilauge liefert, wurde der notwendige Frostschutz (Zulässiger Gefrierpunkt: $< -40\text{ °C}$) mittels Kalilauge entsprechender Konzentration „K“ realisiert.

Katalysatoren

Im Bereich der Katalysatoren wurden verschiedene Salze zum Erzielen einer wahlweise heterogenen oder homogenen Katalyse untersucht. Hierbei wurde zunächst das Potential verschiedener Katalysatoren die Reaktionszeit zu verkürzen untersucht.

Während die Mehrheit der untersuchten Katalysatoren die Reaktion erwartungsgemäß beschleunigten, zeigte z.B. Mangan(II)-acetat eine stark inhibierende Wirkung, obwohl ein katalytischer Zerfall des intermediär gebildeten Wasserstoffperoxids durch Mn(II) literaturbekannt ist.

Tabelle 6-5 Reaktionszeit und Zeitreduktion in in Abhängigkeit von Temperatur und Katalysatorbeladung K

Starttemperatur [°C]	Katalysatorbeladung [Gew.-%]	Reaktionsdauer [min]	Zeitreduktion [%]
-15	0	26	0
-15	K1	19	27
-15	K2	13	50
-15	K3	11	58
r.t.	0	6.1	0
r.t.	K1	5.0	18
r.t.	K2	4.2	31
r.t.	K3	3.5	43
55	0	3.4	0
55	K1	3.0	12
55	K2	2.4	29
55	K3	2.2	35

Vorteilhafter Weise konnte nachgewiesen werden, dass die Katalysatoraktivität bei niedrigen Temperaturen höher ausfällt und mit steigender Temperatur abnimmt. Daher ist nicht davon auszugehen, dass eine bei -15 °C erforderliche Katalyse bei +55 °C zu einem disproportional schnellen Reaktionsverlauf führt.

Temperaturbooster

Durch die Katalysatorstudien wurde ersichtlich, dass die erforderliche Reaktionsdauer von 15 min bei Tieftemperatur im finalen Reaktionsmaßstab nicht zu erzielen ist. Da dies der Starttemperatur in Verbindung mit dem Van-'t-Hoff-Gesetz geschuldet ist, wurden Temperaturbooster veranschlagt. Dies bezeichnet Reinverbindungen oder Stoffgemische welche mit dem wässrigen Medium exotherm reagieren und das Reaktionssystem aufheizen. In einem breiten Screening wurden geeignete, anorganische Salze verwendet sowie Gemische. Hierbei wurde Kalilauge mit dem Booster zur Reaktion gebracht und die erzielbare Temperatur evaluiert (vgl.: Abbildung 6-84).

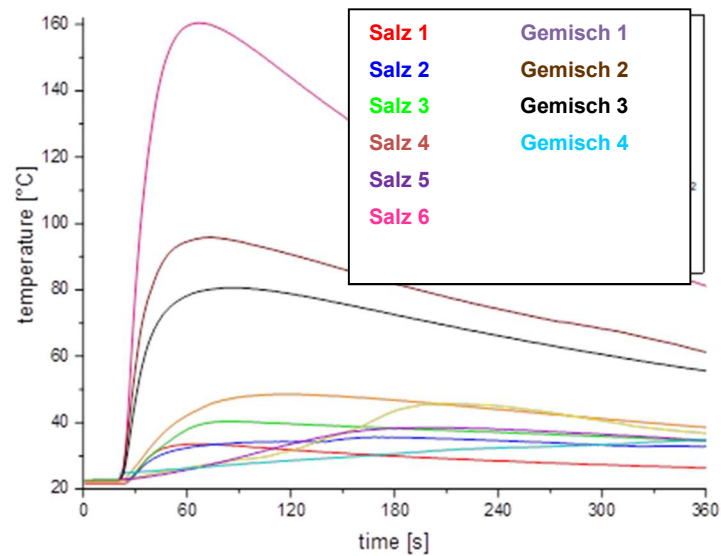


Abbildung 6-84 Erzielbarer Temperaturanstieg bei Umsatz Booster mit Kalilauge.

Während literaturbekannte Gemische sich wenig performant zeigten, konnte Salz 6 einen beachtlichen Effekt erzielen und wurde für weitere Studien herangezogen. Der Einfluss der prozentualen Beimengung auf die Reaktionsdauer wurde untersucht sowie die Auswirkung verschiedener Beimengungsformen – z.B. als homogenes Pulver, Granulat oder in Form geometrischer Domänen.

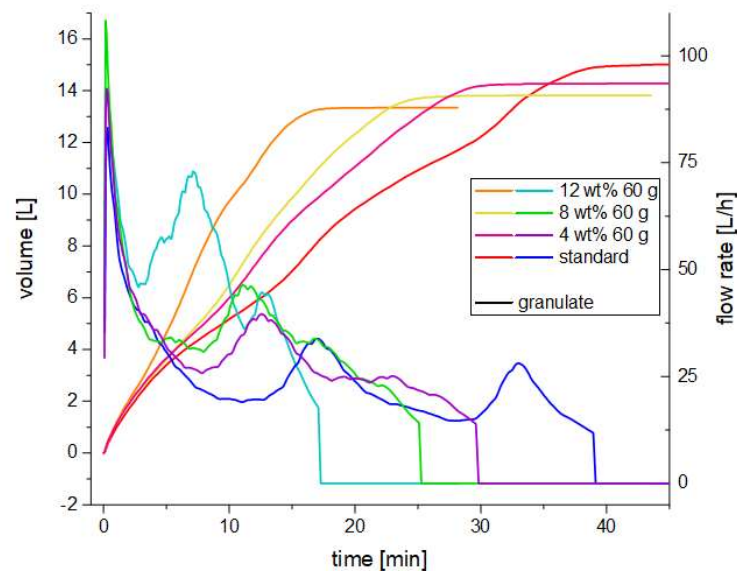


Abbildung 6-85 Reduktion der Reaktionsdauer durch Temperaturbooster-Beimengung.

Im Fall homogener Beimengung konnte Salz 6 die Reaktionsdauer bei -15 °C erheblich reduzieren.

Moderatoren

Eine weitere Möglichkeit die Reaktionsgeschwindigkeit zu beeinflussen ist nach dem Prinzip von Le Chatelier. Da die Reaktion selbst Kaliumhydroxid bildet, verläuft sie umso langsamer je höher die Konzentration der anfänglich zugegebenen Kalilauge ist. Mit fortschreitender Reaktion bremst sich diese selbst durch KOH-Bildung. Entsprechend wurden KO₂-Tabletten mit Kalilauge unterschiedlicher Konzentration umgesetzt und marginale Konzentrations-änderungen konnten mit einer deutlichen Beschleunigung der Reaktion korreliert werden.

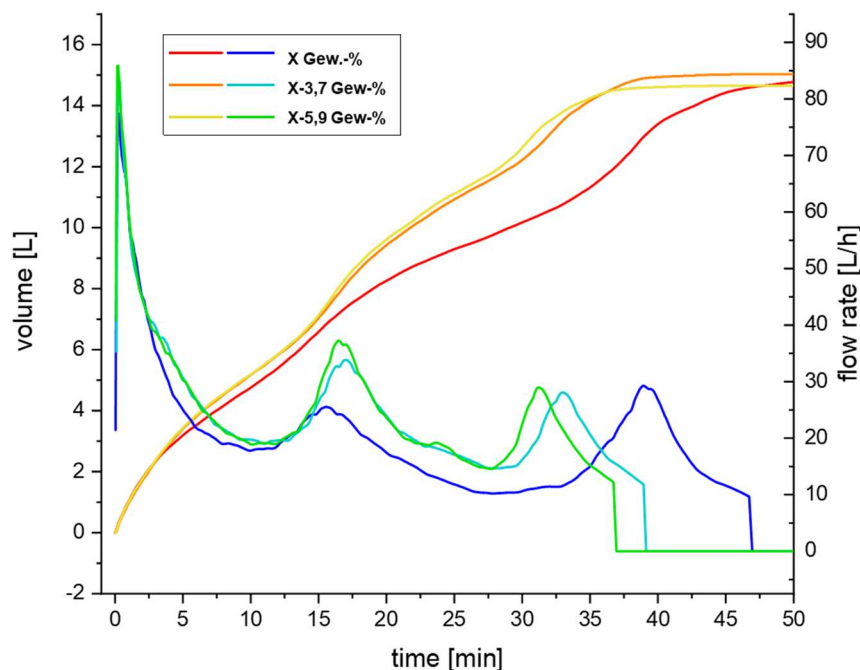


Abbildung 6-86 Reaktionsdauer in Abhängigkeit von der Kalilaugenkonzentration

Full-Scale-Versuche (FS)

Mithilfe der Erkenntnisse aus den Teilaspekten Sauerstoffquelle, Reaktionsmedium, Katalysatoren und Additive konnte die Reaktion zügig auf den finalen Maßstab (Full-Scale) skaliert werden und ein erster Test erfolgen. Auf dieser Basis fand eine iterative Fortentwicklung der Konfiguration statt. Bei FS-Versuch 6 konnte die zu erzielende Sollkurve bei Raumtemperatur weitgehend erreicht werden vgl. Abbildung 6-87). Um die Auswirkung abweichender Umweltbedingungen (-15 °C, 55 °C) zu untersuchen wurde die chemische Komposition aus FS6 für jeweils bei entsprechender Temperatur konditioniert und die Reaktion binnen drei Minuten gestartet. Während der Reaktionsverlauf bei 55 °C mit dem Raumtemperaturverlauf gut übereinstimmt, wurden für -15 °C erhebliche Defizite bei Reaktionsdauer und Flussrate festgestellt. Dieses Problem kann voraussichtlich durch weitere Anpassungen des wässrigen Mediums und höhere Gehalte an potenten Temperaturboostern überkommen werden.

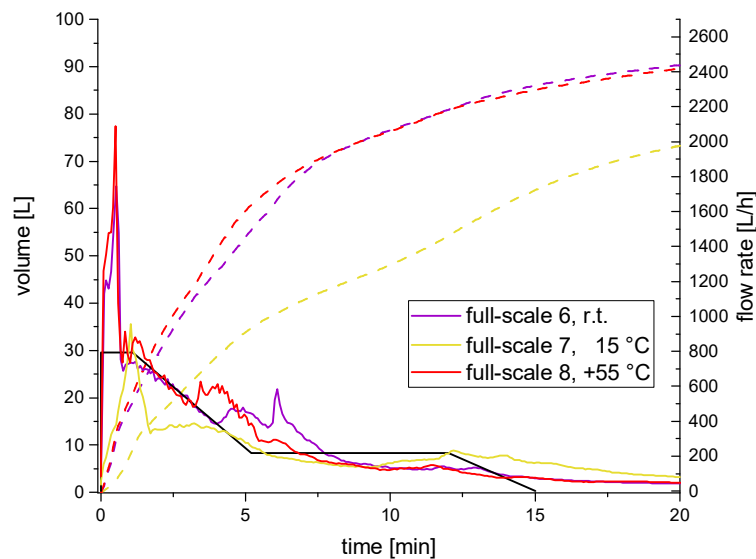


Abbildung 6-87 Erzielte Sauerstoffflussprofile im finalen Maßstab bei variierender Temperatur (-15 °C, rt, +55 °C).

Entwicklung eines Filter- und Membransystems

Die Gasqualität des erzeugten Sauerstoffes muss den strengen Anforderungen der SAE AS8010D („Aviator’s Breathing Oxygen Purity Standard“) genügen. Da Chloratkerzen als derzeitiges System oftmals zur Bildung von giftigem Kohlenstoffmonoxid und Chlor neigen, sind entsprechende Filtersysteme nötig. Um den möglichen Bedarf für das untersuchte System festzustellen, wurde das in den beschriebenen FS-Versuchen gebildete Gas massenspektroskopisch untersucht. Da in der verwendeten Komposition Chlorid zugegen war, sollte insbesondere der Verdacht einer möglichen Chlorgasbildung ausgeschlossen werden. Der Abgleich der erhaltenen Messdaten mit normaler Raumluft zeigte dabei keine Überschreitung der in der SAE AS8010D vorgeschriebenen Grenzwerte für CO, CO₂ oder Cl₂. Die gemessenen Konzentrationen für CO/N₂ und Cl₂ entsprechen dabei dem Messhintergrund normaler Raumluft. Bedingt durch die Reaktionstemperatur wird lediglich Wasser(dampf) in den Gasstrom transportiert. Die Notwendigkeit eines Filtersystems kann verneint werden.

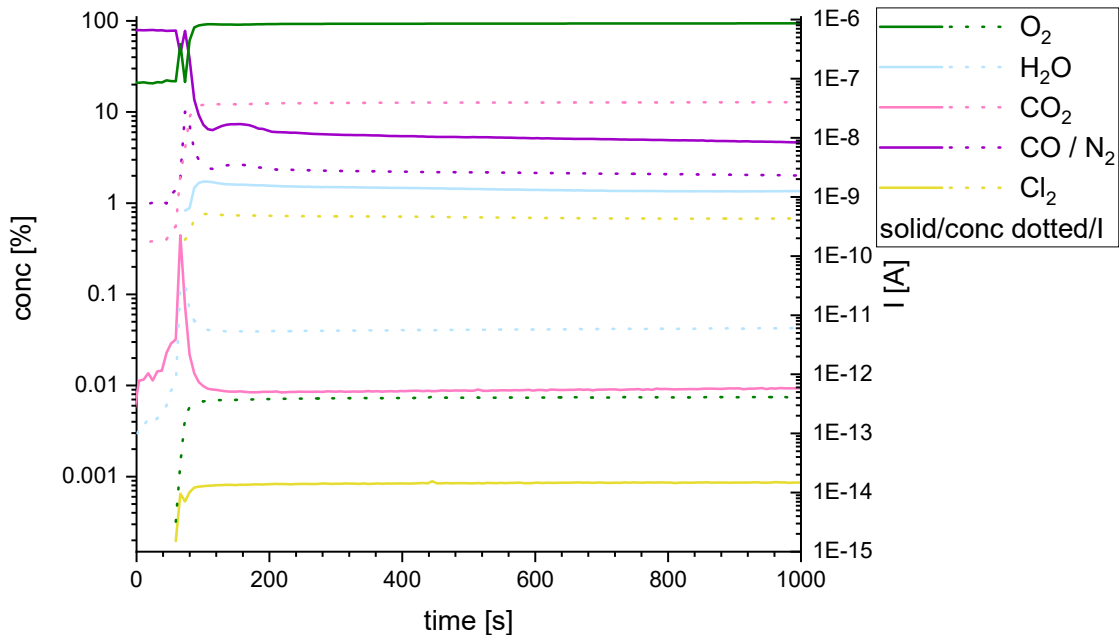


Abbildung 6-88 Echtzeit-Massenspektrum der Sauerstofffreisetzung mit Abwesenheit entsprechender Signale für relevante Kontaminationen.

Tabelle 6-6 Ergebnisse der Massenspektrometrie (ohne Membran) für relevante Gasstromkontaminanten.

	O ₂	H ₂ O	CO ₂	CO / N ₂	Cl ₂
Konzentration	94%	1.4%	90 ppm	4.8 %	8 ppm

Die Menge an entstehendem Wasserdampf lässt jedoch auf die Notwendigkeit eines Membransystems schließen. Entsprechend wurde eine kommerzielle Membran in den Gasstrom eingebracht. Diese zeigte eine gute Durchlässigkeit für gebildeten Sauerstoff unter Retention des gasförmigen Wassers.

Da bei FS-Versuchen, insbesondere in Verbindung mit Katalysatoren und hohen Temperaturen mit höheren Flussraten zu rechnen ist, muss die mechanische Belastbarkeit der Membran und deren Applikationsmöglichkeiten neben dem Verstopfungsverhalten weiter untersucht werden. Durch die substanziellen Verzögerungen bei der Entwicklung des chemischen Kits konnten die Arbeiten erst spät begonnen und mit reduziertem Umfang durchgeführt werden.

Sauerstoffgeneratorkonzept

Aufgrund der fundamental neuartigen Methode zur chemischen Sauerstofferzeugung wurde eine umfassende Phase für ein Gerätekonzept geplant, welche jedoch aufgrund der Verzögerungen

bei der Entwicklung und Skalierung der chemischen Kits erst verspätet begonnen und in entsprechend reduziertem Aufwand ausgeführt werden konnte. Hauptaspekte stellten der Startermechanismus dar um die geforderte Sauerstoffflussrate in den ersten 10 Sekunden erreichen zu können neben der Auswahl geeigneter Materialien und möglicher Herstellungsverfahren sowie dem Aufbau eines Generators, der eine Funktionsanalyse unter verschiedenen klimatischen und mechanischen Umweltbedingungen in Originalgröße ermöglicht.

Im Bereich Startmechanismus wurde festgestellt, dass die Reaktion auch bei tiefen Temperaturen ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$) bei Kontakt von Sauerstoffträger und Reaktionsmedium instantan startet und sich durch ihren exothermen Charakter selbst aufheizt und beschleunigt. Insofern kann ein mechanischer Ansatz verfolgt werden, welcher vorbezeichnete Reaktanten zusammenführt. Dies stellt eine weitgehende Analogie zu Chloratkerzen aus dem Stand der Technik her, welche dezentral und mechanisch ausgelöst werden. Da als Reaktionsprodukt bei KO_2 als Sauerstoffquelle heiße, übersättigte Kalilauge entsteht, welche korrosiv wirkt, sollten bei der Materialauswahl entsprechend inerte Kunststoffe einem Stahlgehäuse vorgezogen werden. Um eine kostengünstige Fertigung zu ermöglichen, sollten diese thermoplastisch sein um Fügeverfahren für Subkomponenten wie das Ultraschallschweißen zu ermöglichen. Die Auswahl wird durch die Temperaturanforderungen ($-50\text{ }^{\circ}\text{C} - 85\text{ }^{\circ}\text{C}$), die benötigte Hydrolysestabilität und dem Bedarf nach geringer Wärmedehnung stark limitiert. Ein möglicher Kandidat ist PEEK, welches für den Luftfahrteinsatz bereits qualifiziert ist. Da sich aus dem Entwicklungsstand der Chemie jedoch ein Volumen und ein Durchmesser für das chemische Kompartiment ableiten lässt, wurde die resultierende axiale Länge mit einer Toleranz beaufschlagt für etwaige mechanische Komponenten und hierauf basierend ein Mockup additiv gefertigt. Der unmittelbare Vergleich mit einem Sauerstoffgenerator aus dem Stand der Technik zeigt, dass eine vergleichbare Dimensionierung erreicht werden kann (vgl. Abbildung 6-89). Weitere Optimierungen in der Chemie bieten Raum für ein weiteres Downsizing.



Abbildung 6-89 Kommerzieller Sauerstoffgenerator (AVOX, unten) im Vergleich zu aus der chemischen Entwicklung abgeleiteten Dimensionierung (oben).

Teilarbeitspaket 3.4.2: Integrationskonzept Notsauerstofferzeugung

Es wurde Möglichkeiten zur Integration der neuartigen Sauerstofferzeugung im Flugzeug für das Baumuster Airbus A350 untersucht. Aus den benötigten Mengen an Sauerstoffträger und wässrigem Medium konnten Volumina abgeleitet und so der benötigte Bauraum abgeschätzt werden. Dafür wurde eine Integrationsanalyse im Overhead-Storage-Compartment (OHSC) durchgeführt (vgl. Abbildung 6-90).

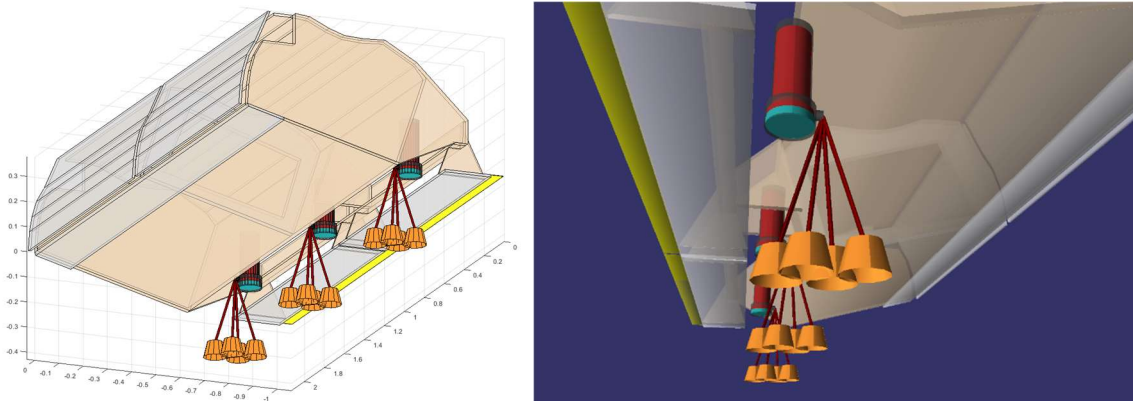


Abbildung 6-90 Integrationsanalyse - Ausnutzung verfügbaren Bauraums in der Overhead-Bin zur Integration des Sauerstoffgenerators

In Abhängigkeit der notwendigen Dimensionierung einer tragfähigen Chemie wurde ein Worst- sowie ein Best-Case-Szenario angenommen und eine Integrationsanalyse ausgeführt. Hierbei wurde gezeigt, dass eine Integration im OHSC für beide Szenarien mühelos möglich ist. Eine Weiterentwicklung des chemischen Kits führt somit in positiver Weise nur zu weiteren Bauraum-einsparungen (vgl.: Abbildung 6-91).

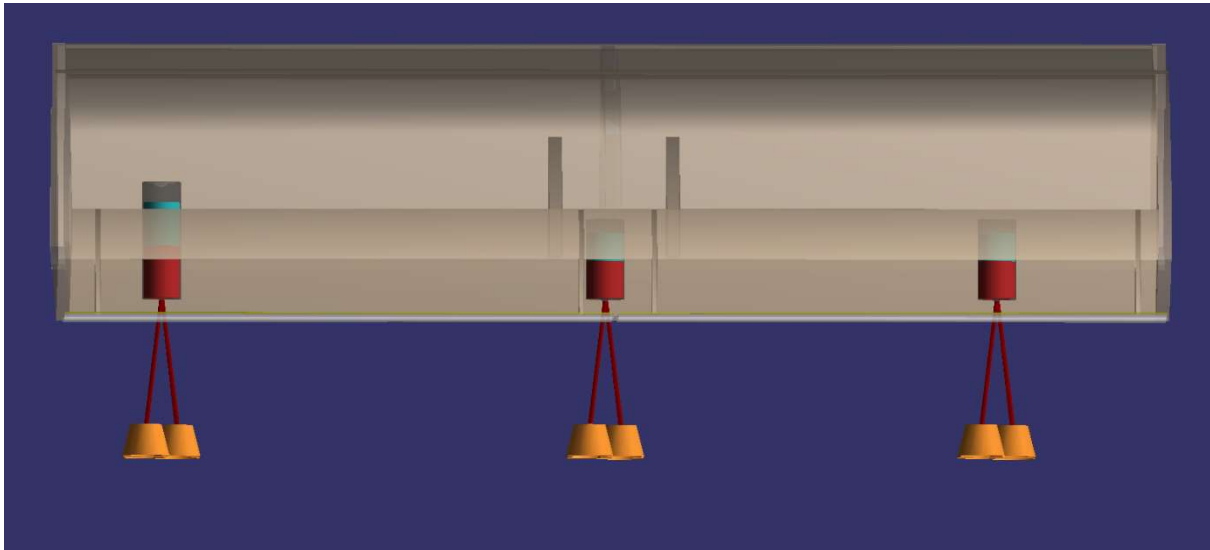


Abbildung 6-91 Sinkender Platzbedarf des COG in Abhängigkeit vom Entwicklungsgrad (Overhead Storage Compartment).

Da das untersuchte chemische Kit noch Optimierungspotentiale birgt, welche mit einer weiteren Volumenverringering für das chemische Kompartiment verbunden wären, können voraussichtlich auch Generatordimensionierungen analog zu heutigen, kommerziellen Chloratkerzen erzielt werden. Dies würde neben der Integration im OHSC auch eine Retrofit-Lösung ermöglichen und damit eine erweiterte Verwertung im Bereich der Passenger-Service-Unit (PSU) bzw. O₂-Box.

7 Verwendung der Zuwendung

7.1 Zielsetzungen und Ergebnisse

In folgender Tabelle erfolgt die Gegenüberstellung der Zielsetzung des Vorhabens mit den erreichten Ergebnissen. Die Zielsetzung entspricht den Zielen aus dem Antrag bzw. stammt aus abgestimmten Änderungen der Ziele aus den Zwischenberichten. Die ausführliche technisch Beschreibung der erreichten Ziele ist in Kapitel 6 erfolgt.

Zielsetzung lt. Antrag	Zielerreichung
AP1.3. Digital After Sale & Services	
Teilarbeitspaket 1.3.1: Wartungsprognose Wasser-/Luftsystem	
<ul style="list-style-type: none"> Schaffung von Grundlagen für Daten Analyse Aufbau von Demonstratoren für Wartungsprognose z.B. Wasserpumpe Demonstrator für Wartungsprognose des Abwasserrohrsystems inklusive eines Vorhersagemodells 	<ul style="list-style-type: none"> Entwicklung einer Applikation mit Dashboards zur Auswertung der Datensätze Effizienten Datenstruktur zur Einbindung der Quelldaten entwickelt PHM-Konzepte für eine Frischwasserpumpe entwickelt Langlauf-tests unter Messung der Temperatur, Leistung und Vibrationslevel an Frischwasserpumpendemonstrator durchgeführt und dokumentiert Konzept für die Verstopfungserkennung an einem Abwasserrohr entwickelt Tests zur Identifikation von Parametern für Ausfallvorhersage durchgeführt
AP 2.1 Flexible und autonome Herstellprozesse	
Teilarbeitspaket 2.1.1: Thermoplastischer Wassertank	
<ul style="list-style-type: none"> Entwicklung von Leichtbau-Frischwassertanks für die Luftfahrtindustrie Spezifizierung des Tankmoduls Konzept für einen integralen thermoplastischen Liner mit ausreichender Eigenstabilität Aufbringen der Faserverstärkung im lasergestützten AFP Verfahren Bau eines Mustertanks 	<ul style="list-style-type: none"> Erarbeitung und Umsetzung eines Konzeptes für einen integralen thermoplastischen Liner Methode zur Stabilisierung von sehr dünnwandigen Linern wurde erarbeitet und im Rahmen der Musterfertigung umgesetzt Entwicklung des Verstärkungsprozesses mittels AFP abgeschlossen Mustertanks konnten erfolgreich hergestellt werden
Teilarbeitspaket 2.1.3: Kosteneffiziente additive Metallfertigung	
<ul style="list-style-type: none"> Identifikation von Bauteilen, die in einem AM-gerechten Design Vorteile bezüglich des Gewichts und/oder Kosten haben 	<ul style="list-style-type: none"> Analysen haben gezeigt, dass eine direkte Substitution heutiger Fertigungsverfahren durch 3D Druck keine wirtschaftlichen Vorteile in Serienanwendungen liefern

<ul style="list-style-type: none"> • Druck eines integralen Demobauteils für eine ARU 	<ul style="list-style-type: none"> • Erfolgreiche Umsetzung von Mustern für geräuschreduzierte ARU Lüfter erfolgt • Exemplarische Umsetzung von Pumpengehäusen durchgeführt
--	---

AP 3.1 Cabin Experience System NG

Teilarbeitspaket 3.1.1: Intelligente Lavatory

<ul style="list-style-type: none"> • Identifikation von Lösungen, die den Status der Toilette wiedergeben (z.B. Verbrauchsartikel, Türschloss, Verschmutzung) • Auslegung und Bereitstellung der Interfaces für die Integration 	<ul style="list-style-type: none"> • Berührungslose, automatische Toiletten-tür wurde als Intelligente Lavatory Komponente entwickelt • Ein Muster der automatischen, berührungslosen Tür wurde aufgebaut und erfolgreich getestet • Schnittstellen zu weiteren Geräten wie Lavatory Controller wurden definiert und bereitgestellt
---	--

AP3.2 Wassersystemkomponenten

TAP3.2.1 Intelligentes Lavatory Wasserversorgungsmodul

<ul style="list-style-type: none"> • Anforderungen an das LWVM • Funktionsmuster der Einzelkomponenten des LWVM • Spezifikation der LWVM • LWVM-Demonstrator mit integrierten Einzelkomponenten, insbesondere Wasserhahn 	<ul style="list-style-type: none"> • Anforderungen an eine Kernkomponente des LWVM, den berührungslosen Wasserhahn, definiert • Funktionsmuster des berührungslosen Wasserhahns aufgebaut • Kurzspezifikation für den berührungslosen Wasserhahn erstellt • LWVM-Demonstrator mit Designmustern der Einzelkomponenten aufgebaut
--	---

TAP3.2.2 Radar Frischwasser Füllstandssensor

<ul style="list-style-type: none"> • Anforderungen an das Radar Messsystem • Konzept für einen flexibel einsetzbaren Füllstandssensor • Labormuster der Radar Füllstandssensoren • Dokumentation und Bewertung der Testergebnisse Labormuster des Radar Füllstandssensors 	<ul style="list-style-type: none"> • Radarsensorspezifikation wurde erstellt • Konzept für den Radar-Sensor wurde erstellt und iterativ umgesetzt • Labormuster wurden aufgebaut und schrittweise optimiert • Funktionale und luftfahrtrelevante Tests wurden durchgeführt und dokumentiert.
---	--

TAP3.2.3 Frischwasser Betankungsfilter

<ul style="list-style-type: none"> • Konzepte zur Integration und Definition der Schnittstellen und des verfügbaren Bauraums • Bewertung der Konzepte und Auswahl des bevorzugten Konzeptes • Evaluierung der Testergebnisse 	<ul style="list-style-type: none"> • Integrationsrandbedingungen, Schnittstellen zum Wassersystem und verfügbarer Bauraum wurden definiert • Bewertung und Evaluation des Filters wurde durchgeführt. Nicht alle Anforderungen konnten erfüllt werden
---	---

TAP3.2.4 Druckgeregeltes Vakuum-Toiletten-System

<ul style="list-style-type: none"> • Konzeptbeschreibung des druckgeregelten Vakuum-Toiletten-Systems • Auswahl von Komponenten • Validierung in einem Systemprüfstand 	<ul style="list-style-type: none"> • Konzeptbeschreibung des druckgeregelten VTS geliefert und Komponenten spezifiziert • Komponenten wurden ausgelegt und beschafft • Test und Verifikation des erstellten Konzeptes in Systemprüfstand durchgeführt
---	--

TAP3.2.5 Optimierte Raumausnutzung mit neuartigen Wassersystemen

<ul style="list-style-type: none"> • 3D Modelle der LWVM-Konzepte • Funktionsmuster Lavatory mit integrierter LWVM 	<ul style="list-style-type: none"> • 3D Modelle für unterschiedliche LWVM erstellt • Gewichtsanalyse der erarbeiteten Konzepte durchgeführt • Physische Integration von 3D gedruckten LWVM Komponenten durchgeführt
--	--

AP3.4. Galley Luftkühlsysteme

TAP3.3.1 Airtaxi ARU (ehemals: „Kompakte Galley Kühleinheit“)

<ul style="list-style-type: none"> • Auslegung eines Klimasystems für ein Airtaxi • Aufbau eines Laborsystems • Validierung der Kühlleistung eines Laborsystems 	<ul style="list-style-type: none"> • Erstellung einer Airtaxi Klimasystem Architektur und Auslegung des Systems durchgeführt • Aufbau und schrittweise Optimierung eines Laborsystems durchgeführt • Durchführung eines umfangreichen funktionalen Testprogramms
--	---

TAP3.3.2 Aktive Geräuschunterdrückung

<ul style="list-style-type: none"> • Konzept zur signifikanten Geräuschreduktion der ARU Betriebsgeräusche durch aktiven Gegenschall • Umsetzung des Konzepts ohne Beeinträchtigung des Bauraums 	<ul style="list-style-type: none"> • Detaillierte Analyse der ARU Geräuschquellen und experimentelle Schallmessungen wurden durchgeführt • Erfolgreiche Umsetzung der aktiven Geräuschunterdrückung an isolierter ARU im Labor
--	--

TAP3.3.3 Kostenoptimierte Luftsysteme für die energieoptimierte Galley

<ul style="list-style-type: none"> • Unterstützung bei der Konzepterstellung für eine kosten- und energieoptimierte Galley • Optimierung der ARU Peripherie wie z.B. Luftauslässe und -verteilung 	<ul style="list-style-type: none"> • Messungen an Galley Luftverteilkänen wurden durchgeführt. • Aufbauend auf diesen Messungen wurden Empfehlungen für Optimierungen abgeleitet und den Projektpartnern übergeben.
---	---

Arbeitspaket 3.4: Katalytische Notsauerstofferzeugung

Teilarbeitspaket 3.4.1: Katalytische Notsauerstofferzeugung

<ul style="list-style-type: none"> • Konzeptentwicklung für ein Notsauerstofferzeugers auf Basis einer katalytischen Chemie mit Reaktionstemperaturen kleiner als 150°C 	<ul style="list-style-type: none"> • Unterschiedliche Chemische Kits wurden untersucht und die favorisierte Kombination aus Sauerstofflieferanten, Katalysatoren und Additiven definiert
--	---

<ul style="list-style-type: none"> • Festlegung der chemischen Komponenten sowie ggf. von Filtern oder Membranen • Vereinfachung der Integrationsrandbedingungen z.B. in Bezug Isolation und Temperatur 	<ul style="list-style-type: none"> • Die Notwendigkeit von Filtern und Membranen wurde untersucht (keine Filter erforderlich, lediglich Membran) • Es wurden nachgewiesen, dass die Reaktionstemperaturen signifikant gesenkt werden können.
Teilarbeitspaket 3.4.2: Integrationskonzept Notsauerstofferzeugung	
<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung eines Konzepts für die Integration des neuartigen Sauerstoffgenerators im Overhead Bin bzw. der Passenger Service Unit (PSU) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ein Integrationskonzept für einen neuartigen Sauerstoffgenerator wurde erarbeitet.

7.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Verwendungsnachweises

Der zahlenmäßige Nachweis der Projektkosten liegt dem Projektträger bereits vor.

In Summe wurden rund 85% der ursprünglich geplanten Selbstkosten für die Projektdurchführung benötigt.

65% der verbrauchten Mittel entfielen auf Personalkosten. Dies ist ein 2% höherer Aufwand als die kalkultierten Personalkosten. Ca. 4% der Projektkosten entfielen auf Materialkosten. Dabei wurden lediglich 32% der ursprünglich kalkultierten Mittel für Materialkosten verbraucht. Hauptursache für den geringeren Materialeinsatz für Material, waren die schwierige Lieferkettensituation und die daraus resultierende verstärkte In-Haus Fertigung sowie erfolgte Umplanungen. 17% der Projektkosten entfielen auf Forschungs- und Entwicklungsunteraufträge. Dabei wurden insgesamt 25% weniger Mittel für Forschungs- und Entwicklungsunteraufträge als beantragt verwendet. Diese Einsparung ist auf den Wechsel eines der geplanten Unterauftragnehmer zurückzuführen; Die größten Einzelpositionen bei den Forschungs- und Entwicklungsaufträgen entfielen auf:

- Sondev GmbH
- Julius-Maximilians-Universität Würzburg
- Technische Universität München

Die übrigen Projektkosten (14% der Gesamtkosten) entfielen auf Reisekosten, Verwaltungskosten sowie sonstige unmittelbare Vorhabenskosten, wobei die Reisekosten um 42% niedriger ausfielen als geplant, da verstärkt virtuelle Treffen durchgeführt wurden.

7.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Diehl Aviation Gilching GmbH ist als weltweit agierender Tier-1 Lieferant für Cabin Supply Systems dem internationalen Wettbewerb ausgesetzt. Innovationen sind essentiell – für neue Produkte aber auch in den bestehenden Geschäftsfeldern – um die heutige Wettbewerbsposition der DAG zu verteidigen. Das durchgeführte Forschungsvorhaben leistete somit einen entscheidenden Beitrag, auch zukünftig Arbeitsplätze an den Entwicklungs- und Fertigungsstandorten in

Gilching sowie Dresden zu sichern bzw. an diesen Standorten zu wachsen. Die durchgeführte Forschung ist zudem die Grundlage sich auf neue bzw. sich verändernde Märkte einzustellen und, um der gesellschaftlichen Verantwortung nach höherer Effizienz und Nachhaltigkeit mit Blick auf eine umweltfreundlichere Luftfahrt gerecht zu werden. Die durchgeführten Arbeiten, z.B. am leichten und kompakten Radarfüllstandssensor, am thermoplastischen Wassertank oder am neuartigen Notsauerstoffsystem leisten jeweils Beiträge zu gewichtseffizienteren Produkten und damit zu einer umweltfreundlicheren Luftfahrt.

Zunächst führen die intensiven Forschungsbemühungen jedoch zu einer finanziellen Belastung des Unternehmens, deren ausschließliche Finanzierung aus Eigenmitteln nicht darstellbar gewesen wäre. Die Verwertungsmöglichkeiten neuer Technologien und neuer Produkte liegen häufig mehrere Jahre in der Zukunft, weil sie von neuen Flugzeugprogrammen abhängen oder die Märkte für eine wirtschaftliche Verwertung (z.B. für Flugtaxi) gerade erst entstehen. Zudem ist die Entwicklung besonders innovativer Lösungen meist auch mit hohen technischen Risiken verbunden. Daher wäre eine Projektdurchführung ohne die finanzielle Förderung durch Bundesmittel nicht in diesem Umfang darstellbar gewesen. Ohne die Förderung hätte der Projektumfang halbiert werden müssen.

8 Voraussichtliche Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Diehl Aviation Gilching GmbH (DAG) hat sich in den vergangenen Jahrzehnten als System- und Gerätelieferant in der internationalen Luftfahrtindustrie etabliert. Mit ihren Standorten in Gilching und Dresden besitzt DAG die Kompetenz zur Entwicklung, Fertigung und Wartung von Kabinensystemen. DAG zählt damit zu einem der weltweit führenden Unternehmen für Luftfahrt Frisch- und Abwassersystemen und beliefert mit seinen Produkten in den Bereichen Klimaunterstützungs- und Rauchwarnsysteme alle wichtigen zivilen OEMs auf der ganzen Welt. Aktuell baut DAG eine neue Produktlinie im Bereich der Notsauerstoffversorgung auf. Damit besitzt DAG einen gesicherten Marktzugang bei Flugzeugherstellern und Airlines zur Verwertung der im Projekt EFFEKT erzielten Ergebnisse. Die Verwertung der Projektergebnisse ist dabei sowohl in neuen, zukünftigen Passagierflugzeugprogrammen als auch im Rahmen der Nachrüstung bestehender Flotten vorgesehen.

Um die Wartungsprognose für Verstopfung des Abwasserrohrsystems weiterbearbeiten zu können, ist die Erfassung von realen Daten im Flug erforderlich, hierfür wird aktuell versucht eine Kooperation mit einer Airline aufzubauen. Grundlagen für eine weitere zukünftige Auswertung der Daten wurden im Rahmen von EFFEKT geschaffen.

Im Rahmen von EFFEKT konnte die Prozesskette zur Herstellung eines thermoplastischen Wassertanks entwickelt und anhand eines Tankmusters nachgewiesen werden. Nach Projektabschluss wird eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des neuen Verfahrens durchgeführt, um die Potentiale für eine Überführung in ein Entwicklungsprojekt bewerten zu können. Um eine Einführung in die Serie zu ermöglichen, ist neben den technisch-wirtschaftlichen Vorraussetzungen zudem die Bereitschaft für einen Retrofit in der bestehenden Flotte erforderlich, da aktuell kein neues Flugzeug in der Single-Aisle Klasse, für das die Tanktechnologie besonders geeignet wäre, entwickelt wird.

Der Berührungslose Türschlossaktuator wurde bereits auf der Aircraft Interiors Expo 2023 (AIX 2023) als Teil eines Lavatory Exponats präsentiert. Zudem wird er als Teil des Diehl Aviation Beitrags auf bei einem Flugtestprogram fliegen. Der Türschlossaktuator ist zudem Teil des Diehl Aviation Touchless Lavatory Features Portfolios ([Touchless Lavatory Features \(diehl.com\)](https://www.diehl.com/touchless-lavatory-features)) und soll im Falle eines Kundenauftrags zur Serienreife entwickelt werden. Als besonders vielversprechend wird hier der Marktzugang über Kabinen Upgrades gesehen. Ebenfalls Teil des Touchless Portfolios ist der berührungslose Wasserhahn. Aufgrund der positiven Ergebnisse und der Relevanz in dieser Produktkategorie, wurden die Ergebnisse bereits während der Projektlaufzeit in ein Entwicklungsprojekt überführt und die Arbeiten in EFFEKT vor Projektende abgeschlossen.

Das Messprinzip des Radarfüllstandssensors konnte anhand von ersten Mustern erfolgreich nachgewiesen werden. Der Radarfüllstandssensor eignet sich aufgrund seines modularen Anbindungskonzepts sowohl für den Retrofit bei bestehenden Tanks als auch für Neuentwicklungen. Damit sind die Aussichten auf eine zeitnahe Verwertung sehr hoch. Die Technologie wurde bereits im Rahmen eines technischen Proposals als Option angeboten.

Vollständige neue Systemansätze wie das druckgeregelte Vakuumsystem sind besonders für neue Flugzeugprogramme geeignet. Die bisher erzielten Ergebnisse sind technologisch sehr vielversprechend, allerdings besteht zunächst weiterer Forschungsbedarf in Bezug auf die Komponentenentwicklung sowie auf Tests unter kritischen Bedingungen. Zudem ist die Einführung eines solch neuen Ansatzes aufgrund des starken Eingriffs in die bestehende Systemarchitektur von den Entwicklungszyklen der OEMs abhängig.

Im Rahmen der Forschung an der Airtaxi ARU wurde die Systemauslegung und Validierung an einem Laboraufbau erfolgreich abgeschlossen. Der Markt der Flugtaxis und eVTOLs ist aktuell sehr dynamisch, so dass hier sowohl Chancen als auch Risiken bezüglich einer Verwertung bestehen. Aktuell setzen einige Hersteller auf den Weg zur Marktreife ihrer Produkte andere Entwicklungsschwerpunkte als das Klimasystem, so dass eine Verwertung der Ergebnisse weiter in der Zukunft liegen dürfte.

Die erzielten Forschungsergebnisse und Grundlagenerkenntnisse zur geräuschreduzierten ARU sowie zu kostenoptimierten Luftsystemen für die energieoptimierte Galley finden bereits Anwendung. So werden die untersuchten Metallschläuche Berücksichtigung in einer Designüberarbeitung der ARU finden und die gewonnen Erkenntnisse zum Strömungsverhalten in die Luftein- und -auslässe fließen in Designs der DAH ein. Eine Umsetzung der aktiven Geräuschreduzierung bedarf zunächst weiterer Forschung.

Im Bereich der Notsauerstofferzeugung wurden große Fortschritte bei der Erarbeitung des chemischen Kits gemacht, auch ein erstes vielversprechendes Generatorkonzept wurde erarbeitet. Die Ergebnisse bilden die Basis für ein weiteres Forschungsverbundvorhaben, das bereits beantragt wurde.

9 Während der Durchführung bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen

Dem Zuwendungsempfänger sind keine Fortschritte auf den Gebieten des Vorhabens bei anderen Stellen bekannt geworden.

10 Geplante oder erfolgte Veröffentlichungen und Vorträge

Im Rahmen des Projektes sind keine Veröffentlichungen entstanden oder Vorträge erfolgt.

Im Rahmen der Arbeiten sind folgende Schutzrechtsanmeldungen durch die Diehl Aviation Gilching GmbH oder unter deren Beteiligung gemeinsam mit anderen Partnern erfolgt:

- Für das Druckgeregelten VTS wurde ein Schutzrecht mit dem Titel „Vakuum-Toilettensystem für Flugzeuge“ unter der Nummer 2021100509551500DE beim Deutschen Patent und Marken Amt angemeldet.
- Für die Herstellung der Thermoplastischen Tanks wurde ein Schutzrecht mit dem Titel „Tankherstellungsverfahren“ unter der Nummer 2022062908482800DE beim Deutschen Patent und Marken Amt angemeldet.
- Für das Touchless Door and Lock wurde ein Schutzrecht mit dem Titel „Verriegelungsanordnung für eine Türe eines Raums in einem Flugzeug“ unter der Nummer 2020111207193700DE und ein Schutzrecht mit dem Titel „Flugzeug-Türschloss mit Antrieb“ unter der Nummer 10202112349.5 beim Deutschen Patent und Marken Amt angemeldet.
- Für die Sauerstoff Generierung wurde ein Schutzrecht mit dem Titel „Sauerstofferzeugung mit wässrigen Lösungen - Unterhalb Gefrierpunkt von Wasser“ Nummer unter der Nummer 1020221101738 und ein Schutzrecht mit dem Titel „Sauerstofferzeugung mit wässrigen Lösungen - Ionische Flüssigkeiten“ unter der Nummer 102022110174.6 beim Deutschen Patent und Marken Amt angemeldet.