

Nationale Luftfahrtforschung 2007-2013
LuFoIV-1

Effiziente passagierfreundliche Kabinensysteme
FKZ: 20K0604D

Abschlussbericht

Projektpartner: AOA apparatebau gauting gmbh
Ammerseestraße 45 – 49
D – 82131 Gauting

Datum: 07. Juli 2010

Projektleiter:

.....
(Datum)

.....
(Unterschrift)

07.Juli 2010		
--------------	--	--

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. AUFGABENSTELLUNG	4
2. VORAUSSETZUNGEN UNTER DENEN DAS VORHABEN DURCHGEFÜHRT WURDE	5
3. PLANUNG UND ABLAUF DES VORHABENS	6
4. WISSENSCHAFTLICH TECHNISCHER STAND ZU VORHABENSBEGINN	8
5. ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN	12
6. ERGEBNISSE DES VORHABENS	13
6.1. AP 1 Modulare Galley-Kühlgeräte	13
6.1.1. Ausgangslage des Projektes und Festlegung der Randbedingungen	13
6.1.2. Konzeptsammlung	14
6.1.3. Erstellung Bauunterlagen und Aufbau des Demonstrators	21
6.1.4. Test und Verifikation	27
6.2. AP 2 Bidet-Toilette	31
6.2.1. AP2.1 – Definition der Anforderungen an eine modulare Bidet Toilette	31
6.2.2. AP2.2 – Konzepte für die modulare Bidet Toilette und verbesserte Oberflächen	32
6.2.3. AP2.3 – Detailspezifikation und Überprüfung des Konzepts	35
6.2.4. AP2.4 / AP2.5 – Konstruktion / Test und Verifikation des Bidet-Toilettendemonstratos	39
6.3. AP 3 Modulare Sensor-Plattform für die Branderkennung	59
6.3.1. Ziel des Arbeitspakets, Anforderungen	59
6.3.2. Konzepte zur modularen Sensor-Plattform	59
6.3.3. Detaillierung und Spezifizierung der Sensor-Plattform	63
6.3.4. Fertigung und Integration der Sensor-Plattform	68
6.4. AP 4 Hochintegriertes modulares Abwassersystem	71
6.4.1. Vergleichende Betrachtung von Drucktank und konformem Tank bei herkömmlichen Druckbelastungen	71
6.4.2. Definition angepasster Anforderungen für den konturnahen Abwassertank	82
6.4.3. Bauweisenuntersuchung für konturnahe Abwassertanks	84
6.4.4. Auslegung und Vorkonstruktion eines Tankdesigns in zwei Bauweisen	85
6.4.5. Bewertung des Konzepts „Konturangepasster Abwassertank“	95
6.4.6. Alternative Werkstoffe für Tank-Sandwich	96
6.4.7. Materialversuche zur Integration des Füllstandssensors in die Tankwand	97
6.4.8. Innenbeschichtung des Abwassertanks mittels thermisch Spritzen	105
6.5. AP 5 Wasserversorgung zur Kabinenluftbefeuchtung	114
6.5.1. Ziel des Arbeitspaketes	114
6.5.2. Anforderungen an Kabinenluft-Befeuchtungssysteme	114
6.5.3. Wasseraufbereitungs-Konzepte für verschiedene Luftbefeuchtungsverfahren	116

07.Juli 2010		2
--------------	--	---

6.5.4.	Spezifikationserstellung für das Water Management Subsystems	127
6.5.5.	Demonstratorfertigung und Integration.....	129
6.5.6.	Test und Verifikation	129
7.	DARSTELLUNG DES VORAUSSICHTLICHEN NUTZENS UND DER VERWERTBARKEIT DER ERGEBNISSE.....	136
8.	DARSTELLUNG DES WÄHREND DER DURCHFÜHRUNG BEKANNT GEWORDENEN FORTSCHRITTS BEI ANDEREN STELLEN	138
9.	DARSTELLUNG DER GEPLANTEN ODER ERFOLGTEN VERÖFFENTLICHUNGEN.....	138

1. AUFGABENSTELLUNG

Mit der steigenden Anzahl von herzustellenden Passagierflugzeugen wächst die Forderung Entwicklungs- und Herstellzeiten zu verkürzen. Die Luftfahrtgesellschaften wollen die Kabinen ihrer Flugzeuge variabel konfigurieren und verlangen immer kürzere Zeiträume zwischen der entsprechenden Festlegung bzw. Bestellung und der Auslieferung. Um diese verschärften Anforderungen erfüllen zu können, müssen Flugzeughersteller und Zulieferer die notwendigen Innovationsprozesse beherrschen und die komplexer werdenden Integrationsaufgaben erfolgreich bewältigen können.

Gleichzeitig führen die stetig zunehmende Luftverkehrsdichte bei steigender Reichweite und längerer Flugdauer zu wachsenden Ansprüchen der Passagiere an Kabinenkomfort, Sicherheit und Effizienz des Lufttransports.

Gemeinsames Vorhabensziel der geplanten Arbeiten war die Entwicklung innovativer Technologien für modulare, passagiernahe Systeme und Geräte in den Anwendungsbereichen:

- Galleys: Modulare Subsysteme zur Speisekühlung während des Fluges mit besserer Zuverlässigkeit, flexiblerer Einsetzbarkeit und reduziertem Gewicht
- Lavatories: Bidet-Toilette: Integration einer Bidet-Funktion, flexibler Einbau in der Kabine, Beschichtungstechnologien
- Branderkennung: modulare Sensor-Plattform für unterschiedliche Anwendungsbereiche mit bedarfsangepasster Multi-Sensorik, reduzierte Fehlalarm-Rate
- Wasser-/Abwassersysteme: Innovative Technologien zur Speicherung des Abwassers unter verbesserter Ausnutzung verfügbarer Bauräume
- Kabinenluftbefeuchtung: Entwicklung des Wassermanagements für eine Anlage zur individuellen Luftbefeuchtung in der Passagierkabine.

Im Rahmen des Vorhabens sollten Technologien für Geräte und Systeme zukünftiger Flugzeugkabinen bereitgestellt werden, um so den Weg für die Akquisition zukünftiger technologisch anspruchsvoller Arbeitsanteile mit hoher Wertschöpfung in bei AOA etablierten Produktbereichen zu bereiten.

07.Juli 2010		4
--------------	--	---

2. VORAUSSETZUNGEN UNTER DENEN DAS VORHABEN DURCHGEFÜHRT WURDE

AOA gehört seit Jahrzehnten zu den führenden Herstellern elektronischer und mechanischer Systeme für die Luftfahrt. AOA bietet Lösungen für Wasserversorgung und Abwasserentsorgung, Brandschutz und Klimatisierung an, Produkte, die wesentlich zu Sicherheit und Komfort der Passagiere beitragen. Das Unternehmen baut seine technologische Spitzenstellung in diesen Bereichen durch Kooperationen mit Forschungsinstituten und kompetenten Zulieferern kontinuierlich weiter aus.

Im Bereich Wasser- und Abwassersysteme liefert die AOA-Gruppe Teilsysteme und Komponenten für die gesamte Single-Aisle Flotte von Airbus sowie die kompletten Systeme für den A330/A340 sowie den A340-500/-600. Für die Boeing 747-8 F wird derzeit das Vakuum-Toilettensystem entwickelt, für die A350 das komplette Wasser-/ Abwassersystem. Daneben liefert AOA verschiedene Systeme für Geschäftsflugzeuge (Embraer, Gulfstream).

Der Bereich Brandschutz produziert Rauchwarngeräte für A340-500/-600 und A380, in Entwicklung befinden sich Rauchwarngeräte für die A350 sowie das komplette Rauchwarnsystem für den A400M.

Im Bereich Klimatisierung werden Kühlkomponenten für den A340-500/-600 sowie A380 an Airbus, Lufttrocknungs- und Befeuchtungs-Geräte sowohl an Airbus als auch an Boeing geliefert. In Entwicklung befindet sich die Air Cooling Unit für die A350. AOA-Lüfter fliegen in sämtlichen Airbus-Flugzeugen mit Ausnahme der A380.

In diesen Produktbereichen verfügt AOA über langjährig aufgebaute Kompetenz sowie eine moderne Ausstattung an Entwicklungs-Tools und Prüfständen, die im Rahmen des Projektes genutzt werden konnten.

Im vorliegenden Projekt wurden technologische Aufgabenstellungen aus all diesen Produktbereichen verfolgt, die Arbeiten wurden dabei auf die beiden Unternehmensstandorte Gauting und Dresden aufgeteilt.

Im Rahmen verschiedener diesem Vorhaben vorausgehenden Technologieprojekte wurden bei den Wasser- und Abwassersystemen, den mit Multi-Sensorik ausgestatteten Rauchwarngeräten und modernen, modular aufgebauten System- und Gerätearchitekturen bereits wichtige Vorarbeiten geleistet. Viele der dabei gewonnenen Erkenntnisse konnten im vorliegenden Vorhaben wieder aufgenommen und fortgeführt werden.

07.Juli 2010		5
--------------	--	---

3. PLANUNG UND ABLAUF DES VORHABENS

Das von Airbus Deutschland geführte Verbundvorhaben "KABTEC" war in zwei Teilprojekte unterteilt, welche auf die Primärziele innovative Kabinen- und Kabinen-Systemarchitekturen fokussieren:

- Teilprojekt Integrierte Kabinenarchitekturen (INKA)
- Teilprojekt Integrierte Kabinen-Systemarchitekturen (INSA)

AOA war an diesen beiden Teilprojekten mit fünf Arbeitspaketen (s. Abb. 3-1, Strukturplan) aus verschiedenen Produktbereichen beteiligt. Die Gliederung der Darstellung der im Projekt erzielten Ergebnisse (Kap. 6) folgt dieser Struktur.

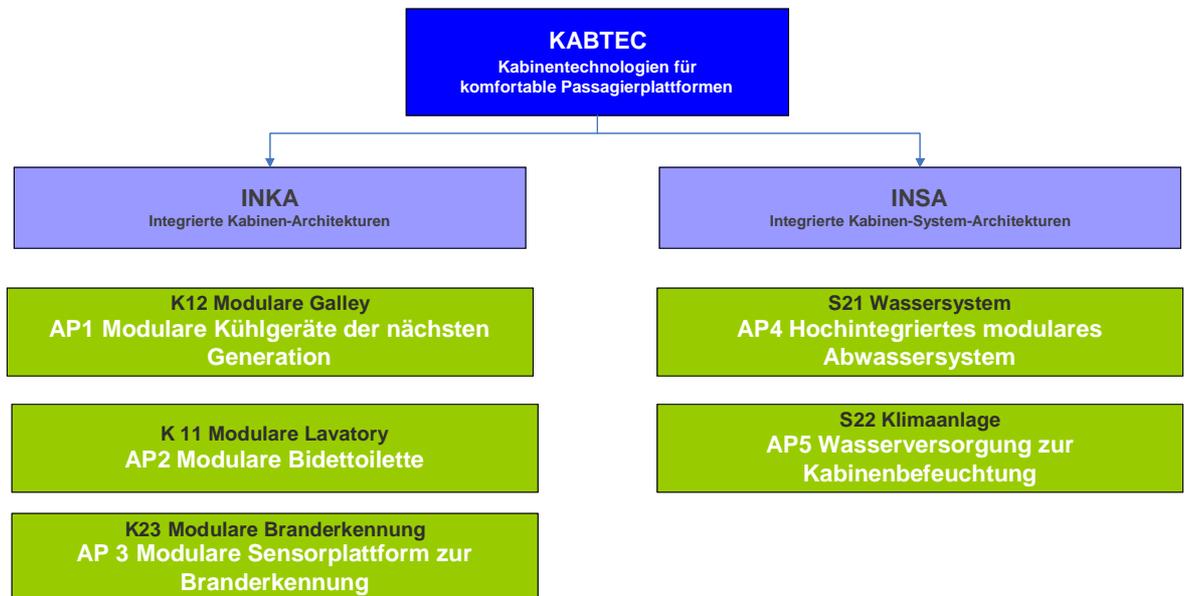


Abbildung 3-1: Strukturplan des Projektes KABTEC bei AOA

Jedes dieser Arbeitspakete wurde in 5 weitgehend aufeinander folgende Phasen eingeteilt:

- Phase 1 Anforderungen
- Phase 2 Konzeptdefinition
- Phase 3 Spezifizierung, Detaillierung
- Phase 4 Musterbau, Integration
- Phase 5 Test und Verifikation

07.Juli 2010		6
--------------	--	---

Eine Gesamtübersicht über die Projektplanung gibt der nachstehende Balkenplan:

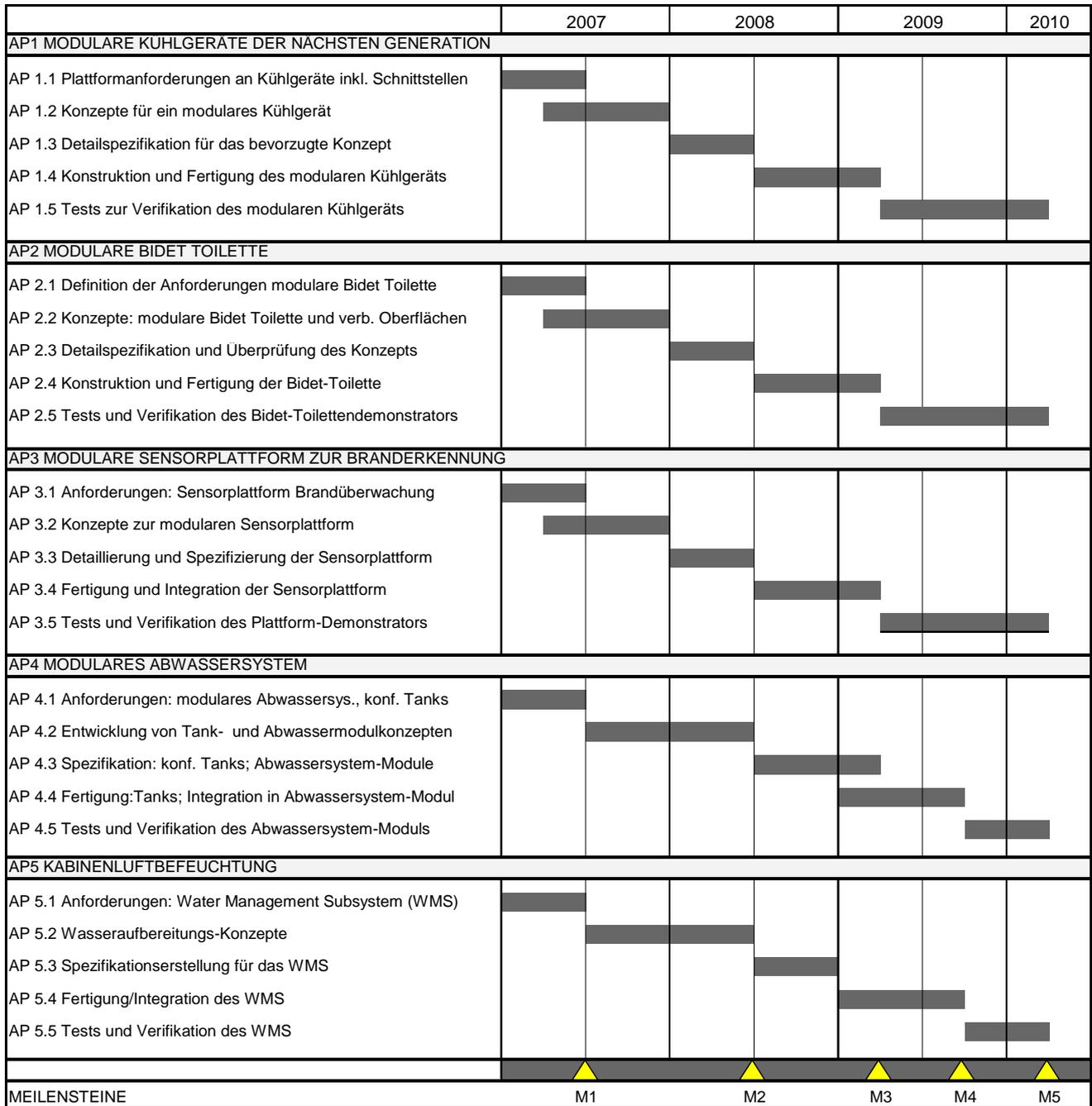


Abbildung 3-2: Balkenplan des KABTEC-Projektes bei AOA

4. WISSENSCHAFTLICH TECHNISCHER STAND ZU VORHABENSBEGINN

Modulare Galley-Kühlgeräte

Die heutigen Kühlgeräte sind für eine bestimmte Anwendung spezifisch entwickelte Geräte, die wesentlichen Komponenten wie Wärmetauscher, drehzahlvariables Gebläse, Kühlmittel-Ventil und Ansteuerung sind somit ausgelegt bezüglich dieser Anforderungen.

Mit modular aufgebauten Geräten und mit Konstruktionselementen, die die Anforderungen eines Universal Supply Channel berücksichtigen, können zukünftige Flugzeugentwicklungen bereits in der Auslegungsphase begleitet und Geräte mit verkürzter Entwicklungszeit bereitgestellt werden.

Vereisungseffekte im Wärmetauscher der Kühlgeräte können derzeit weder theoretisch berechnet werden, noch gibt es dafür geeignete Sensoren. Die Kühlgeräte werden daher zyklisch betrieben. Einem Kühlzyklus folgt in regelmäßigen Abständen ein Abtauzyklus, unabhängig davon, ob der Kühler vereist ist oder nicht. Häufigkeit und Dauer der Aufwärmung müssen bei diesem Verfahren experimentell unter Annahme der ungünstigsten Randbedingungen bestimmt werden. Die Erfahrung zeigt aber, daß die Geschwindigkeit der Vereisung, abhängig von der Luftfeuchte im Flugzeug, sehr unterschiedlich ist. Die derzeitige Vorgehensweise resultiert daher in einer niedrigen Kühleffizienz und damit in einem hohen Energieverbrauch.



Abbildung 4-1: Air Cooling Unit für den Airbus A340-500/-600

07.Juli 2010		8
--------------	--	---

Bidet-Toilette

Toiletten mit integriertem Bidet für Haustechnikanwendungen wurden erstmalig 1957 von der Firma closomat in der Schweiz produziert und haben sich in den letzten 25 Jahren insbesondere in Japan durchgesetzt. 2002 besaßen über die Hälfte der japanischen Haushalte ein so genanntes „Washlet“, damit war das Washlet in Japan damals verbreiteter als der Heimcomputer. Neben der Bidetfunktion sind darin eine Vielfalt von Funktionen wie Warmluftgebläse, Sitzheizung, automatischer Deckelöffner, automatische Spülung etc, integriert, die entweder in die Toilette oder die Klobrille eingebaut sind.

Derzeit gibt es in keinem Passagierflugzeug eine serienmäßige Bidet-Funktion. Bei AOA soll eine modular aufgebaute Bidet-Toilette entwickelt werden, die mit derzeitigen Toiletten kompatibel und somit austauschbar ist.

Die Anbindung der Toilette an die Abwasser-Sammelleitung wird heute mit starren Rohren realisiert. Eine flexible Verschiebung in einem kleinen Raster ist mit dieser Konstruktion nicht möglich.

Oberflächen werden mit immer neuen Eigenschaften ausgestattet. Sie können Schmutz abweisen, Barrieren gegen unerwünschte Stoffe bilden und mechanischen oder chemischen Schutz vor Beschädigung leisten. Im Sanitärbereich sind besonders antimikrobielle Oberflächen von Interesse, die die Vermehrung von Keimen begrenzen und somit gute Dienste als Infektionsprophylaxe bieten. Durch den sogenannten Lotus-Effekt oder mikrodomänenstrukturierte Oberflächen werden Mikroorganismen nicht angegriffen, es wird lediglich ihr Anhaften verhindert. Da auch Wasser und Schmutz nicht anhaften, werden auch die Lebensbedingungen der Bakterien negativ verändert. Im Rahmen von LuFo II wurden bei AOA bereits Untersuchungen zur Reduzierung von Ablagerungen, insbesondere von Kalkablagerungen durch verschiedene Antihafbeschichtungen durchgeführt. Da sich in der Zwischenzeit auf dem Sektor der Beschichtungsmaterialien einiges getan hat, ist im vorliegenden Projekt eine Aktualisierung dieser Untersuchungen geplant.

Modulare Sensor-Plattform für die Branderkennung

Rauch bzw. entstehendes Feuer wird in den heutigen Flugzeugen abhängig von der Zone mit unterschiedlichen Geräten detektiert. Über die Jahre hat sich so eine Vielzahl von äußerlich ähnlichen Gerätetypen ergeben, die sich vor allem durch die eingebaute Sensorik und deren Signalverarbeitung unterscheiden, die auf spezielle Situationen, z.B. Strömungsverhältnisse, Öffnung von Türen, etc. reagieren muß. Das optische Meßprinzip stellt dabei den Standard dar, Multisensorik kommt erst teilweise zum Einsatz. Da die Sicherheit während des Flugs und damit die frühzeitige Meldung eines entstehenden Feuers Priorität haben, werden die Geräte relativ empfindlich eingestellt. Dies und die Störbarkeit durch Staubpartikel führt heute in der Praxis immer wieder zu Fehlalarmen. Trotz aufwendiger Systemlogik sind durch die derzeitige Technik hier Grenzen gesetzt.

07.Juli 2010		9
--------------	--	---

Zur Lösung dieses Problems hat AOA in der Vergangenheit (LuFo II) bereits die Einsetzbarkeit von Gassensoren untersucht wurde, deren Luftfahrttauglichkeit ist aber derzeit noch nicht gegeben.

Ein anderes Hilfsmittel und ein sich bei der optischen Meßzelle abzeichnender Trend ist, die heute übliche Anordnung mit einer Sendediode durch 2 Sendedioden zu ersetzen. Die dadurch gewonnenen zusätzlichen Sensordaten können dazu genutzt werden, die Fehlalarmrate spürbar zu reduzieren. Im vorliegenden Projekt wurde als Ziel definiert, sogar einen innovativen Antritt mit 3 Sendedioden vorzunehmen und mit einem modularen Aufbau eine einfache Adaption an unterschiedliche Einbauorte zu ermöglichen.

Hochintegriertes modulares Abwassersystem

Gegenwärtige Abwassersysteme in Passagierflugzeugen sind Vakuumsysteme, in denen ab einer bestimmten Flughöhe die Druckdifferenz von bis zu 700 mbar zwischen Kabine und Flugzeugumgebung für den Abtransport des Abwassers und der Fäkalien von den Toiletten zu den Speichertanks genutzt wird. Am Boden und in niedrigen Flughöhen wird ein Vakuumgenerator genanntes Gebläse eingeschaltet, das den benötigten Differenzdruck erzeugt. Da Abwassertanks beständig gegen Druck und Unterdruck sein müssen, sind die Möglichkeiten ihrer Formgebung begrenzt. Rotationssymmetrische Faserverbundtanks mit einem Innentank (Liner) aus Stahl oder schlagfestem Kunststoff zum Schutz des Faserverbundes sind sperrig und benötigen gemeinsam mit der Tankaufhängung ein großes Integrationsvolumen (s. Abb. 4-2). An die Kontur des Integrationsraums angepaßte Lagertanks, welche die gleichen Druckanforderungen erfüllen, bieten den Vorteil einer besseren Raumnutzung sind jedoch erheblich schwerer als zylindrische Tanks mit Iso-Tensoidböden.

Im vorliegenden Projekt sollten daher alternative Abwassersystem-Technologien untersucht werden, mit denen die Druckanforderungen an die großen Lagertanks herabgesetzt werden können. Dazu gehören Konzepte mit einer Kombination aus Drucktransport und Vakuumabsaugung, Vakuumtransport und druckloser Lagerung oder auch Konzepte, mit denen Fehlerfälle ausgeschaltet und damit Druckanforderungen der Tankauslegung herabgesetzt werden können.

Ein weiteres Ziel stellte die Fortführung von im Rahmen von LuFo III begonnenen Untersuchungen zum konstruktiven Aufbau von Tanks dar, bei denen eine wartungsfreie Füllstandssensorik in die Tankwand integriert ist.

07.Juli 2010		10
--------------	--	----



Abbildung 4-2: Tankmodul und Integrationsraum im 340-500/-600

Wasserversorgung zur individuellen Kabinenluftbefeuchtung

Gegenwärtig wird die Luft lediglich in den „Crew Rest Compartments“ einiger Flugzeuge befeuchtet, um Piloten und Flugbegleiter, die der trocknen Luft häufig über ausgedehnte Zeit ausgesetzt sind, vor gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu schützen. Die relative Luftfeuchte beträgt in der Passagierkabine häufig nur 5 bis 7%. Dies verursacht häufig juckende Augen und Austrocknung von Hals und Nase.

Im A380 kommen – derzeit als optionale Ausstattung - Luftbefeuchter auch für die Passagiere der 1. Klasse zum Einsatz. Diese Luftbefeuchter beruhen auf dem Verdampfungsverfahren. Dabei wird ein „Pad“ mit großer Oberfläche und kleinem Volumen über ein Wasserventil mit Wasser getränkt und ein temperierter Luftstrom über das feuchte Pad geleitet. Das Wasser wird als Dampf an die Atmosphäre abgegeben, dadurch werden Verunreinigungen und Kontamination mit Mikroorganismen in Leitungen und Luft ausgeschlossen. Die Standzeit der Pads hängt von ihrer Größe und dem Mineralgehalt des Wassers ab. Dieses Verfahren eignet sich in erster Linie für zentrale Anlagen, die größere Bereiche der Kabine versorgen.

5. ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN

Federführer des Verbundprojekts KABTEC war Airbus Operations GmbH. Airbus übernahm die Koordination des Verbundvorhabens sowie die typischen Aufgaben des Flugzeugherstellers:

- Definition der übergeordneten flugzeugspezifischen Anforderungen
- Bewertung: technische Konzepte und Integration
- Definition der Flugzeugschnittstellen
- Modellparameter / Randbedingungen

Darüber hinaus hat AOA im Projekt mit folgenden Stellen zusammengearbeitet:

Industrieunternehmen

Dasell Cabin Interior GmbH (AP 2)

Diehl BGT Defence GmbH (AP 4)

Diehl Aerospace GmbH (AP 1)

EADS-IW (AP 5)

Beauftragte Hochschulen

TU Chemnitz (AP 4)

Uni Duisburg-Essen (AP 3)

Die Art der Zusammenarbeit ist in den jeweiligen Abschnitten von Kap. 6 dargestellt.

07.Juli 2010		12
--------------	--	----

ERGEBNISSE DES VORHABENS

5.1. AP 1 Modulare Galley-Kühlgeräte

5.1.1. Ausgangslage des Projektes und Festlegung der Randbedingungen

Nach diversen AOA-internen Vorarbeiten wurde das Verbundthema Galley Cooling offiziell am 2. Mai 2007 mit einem Kick-Off-Meeting gestartet. Bei diesem Treffen wurden die Projektziele und die Termine für zu liefernde Arbeitsergebnisse festgelegt.

In der Folge eines Treffens mit den Verbundpartnern wurde ein Dokument erstellt, welches den Stand der Technik, das geplante weitere Vorgehen sowie Ziele und Visionen des Projektes beschreibt. Das Kapitel „Ziele und Visionen“ wurde als gemeinsames Dokument der Verbundpartner erstellt, um auch ein gemeinsames Verständnis des Projektes sicherzustellen.

Festgelegte Ziele und Visionen waren:

- Designempfehlungen und -richtlinien zur Konstruktion von Galleys
- Eine deutliche Verringerung des Kühlbedarfs einer Galley
- Die Kühlung von mehr als 4 Trolleys mit einer ACU
- Reduzierung des „Customize“ Arbeitsanteils auf das Zusammenstellen standardisierter Galleystrukturen, standardisierter Inserts, Dekorfolien und Farbgebung
- Verbesserte ACU mit höherer Leistung und weniger Komplexität
- Ein besseres Verständnis der physikalischen Vorgänge bei der Vereisung der ACU
- Patente, die aus den Forschungsergebnissen abgeleitet werden

Ein weiteres Ergebnis des ersten Arbeitpaketes war das Dokument „Equipment Requirement Definition“, in welchem die wichtigsten Anforderungen und Schnittstellen der ACU (Air Cooling Unit) als modularer Baustein der Flugzeug-Galley aufgeführt wurden. Ein wichtiger Punkt war, dass der Bauraum der aktuellen ACU nicht überschritten wird, da sich diese Größe der ACU als Galley-Insert bisher bewährt hat.

Weitere Anforderungen sind folgend aufgeführt:

- Der Bauraum der ACU und deren Befestigungspunkte gegenüber der Galley soll mit den ACU's der aktuellen Generation übereinstimmen
- Das Gewicht der ACU soll kleiner als 10 kg sein
- Betriebsbedingungen der ACU:
 - Hydraulisch:
 - Absolut-Druckbereich: 1,5 bar - 15bar
 - Differenz-Druckbereich: 0,5 bar - 10bar
- Umgebungsbedingung:
 - Ground Case (Bodenbedingung): 1013mbar, 70% relative Feuchtigkeit, 29°C
 - Flight Case (Flugbedingung): 760mbar, 30% relative Feuchtigkeit, 24°C

07.Juli 2010		13
--------------	--	----

- Kühlmittel: Galden® HT135
 - Kühlmitteltemperatur: -8°C
 - Volumenstrom: 8,5l/min
- Schnellverschlusskupplungen als hydraulische Anschlüsse
- Die elektrischen Stecker gegenüber der Galley bzw. dem Flugzeug sind folgend definiert:
 - Spannungsversorgung: EN 3646A61006FN
 - Signalstecker: EN 3646A62041FN

5.1.2. Konzeptsammlung

Im Rahmen der Konzeptphase wurden die in den Abbildungen 6.1-1 und 6.1-2 dargestellten Maßnahmen identifiziert, die darauffolgend auf Realisierbarkeit, Vorteile und Nachteile (Tabelle 6.1-1) untersucht wurden, um die Auswahl der zu verfolgenden Designkonzepte zu ermöglichen.

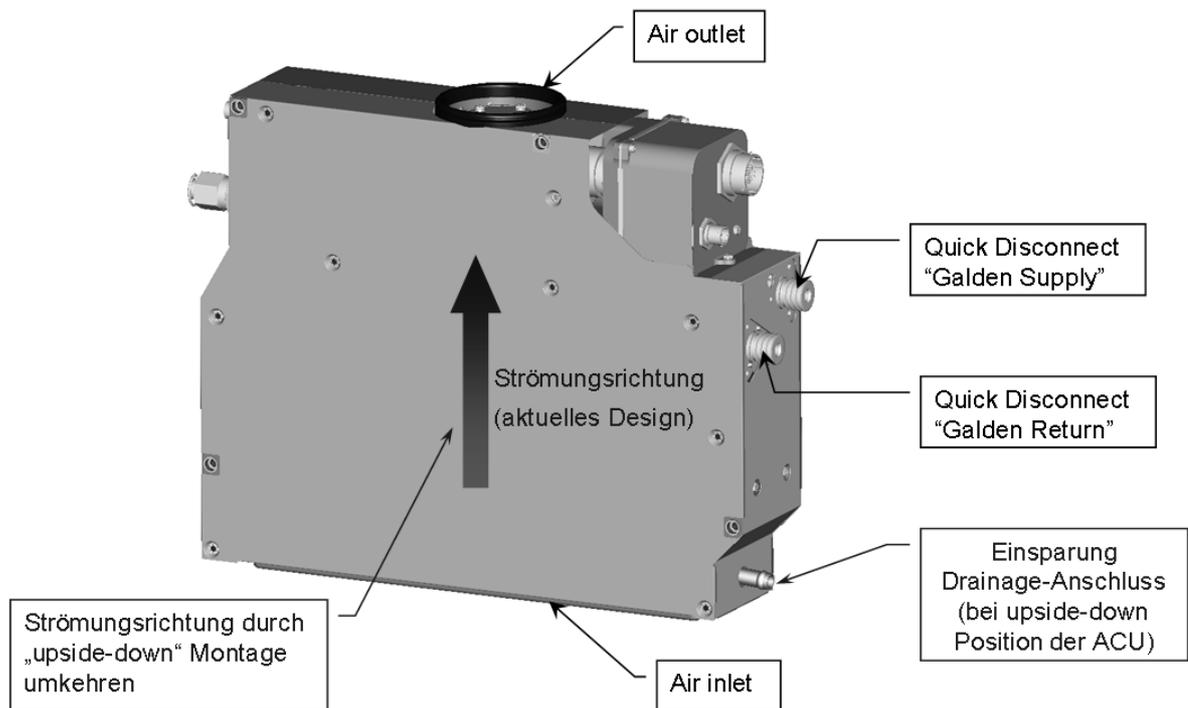


Abbildung 0.1-1: Konzepte zur Optimierung der ACU (1)

07.Juli 2010		14
--------------	--	----

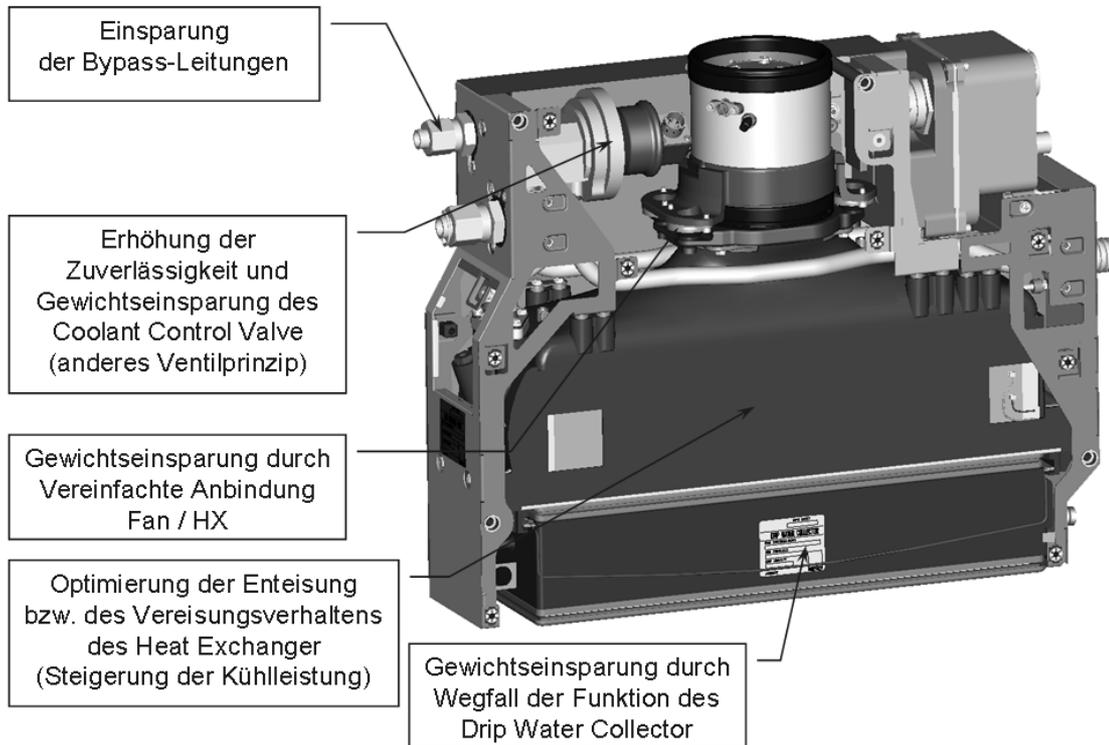


Abbildung 0.1-2: Konzepte zur Optimierung der ACU (2)

Zur Unterstützung der Auswahl in der Konzeptphase wurde im September 2007 eine Diplomarbeit mit dem Thema „Analyse, Auslegung, Konstruktion und Verifikation eines Stromregelventils für Luftfahrtgeräte“ ausgeschrieben. Die Aufgabenstellung der Arbeit war die Definition eines stufenlos regelbaren CCV's (Coolant Control Valve), welches in den Punkten Gewicht, Zuverlässigkeit und auch Herstellkosten dem bisherigen Bauteil überlegen ist. In diesem Zusammenhang wurde auch die bisherige Regelung der ACU analysiert und es entstanden Vorschläge für eine Optimierung der Regelung. So wurde auf einem Airbus-Galley-Teststand untersucht, wie sich die Temperaturen in einer Galley mit einem digital schaltenden Ventil verhalten. Bei diesen Untersuchungen wurde festgestellt, daß sich das zu kühlende Medium (Speisen und Getränke) gegenüber Temperaturschwankungen der gekühlten Luft relativ träge verhält. Durch dieses Ergebnis war für die Definition eines neuen CCV's mehr Spielraum gegeben.

Weitere Ideen aus der Konzeptphase sowie deren Vor- und Nachteile sind in der Tabelle 6.1-1 aufgelistet. Da durch die neue ACU auch Schnittstellen zur Flugzeug-Galley betroffen sind, wurden diese Auswirkungen dargestellt und mit den Projektpartnern besprochen um ein übergreifendes Konzept erstellen zu können.

07.Juli 2010		15
--------------	--	----

	Requirement / Design-Merkmal	Vorteile	Nachteile	Auswirkungen auf Galley-Schnittstelle
1	Einsparung der Bypass-Leitungen	- Gewichtseinsparung - erhöhte Zuverlässigkeit - weniger Schnittstellen, an denen Vereisung auftritt und somit Kühlleistung verloren geht		- Verbindung einer 2. ACU muss über Verzweigung flugzeugseitig realisiert werden
2	Neues CCV-Prinzip	- Gewichtseinsparung - einfache Regelung - erhöhte Zuverlässigkeit		- Toleranzbereich der Luftauslass-Temperatur muss erweitert werden um die Regelung an die Trägheit des System "Galley" anzupassen
3	vereinfachte Anbindungskonzepte (z.B. Fan-HX)	- Gewichtseinsparung - bessere Isolation an den Schnittstellen Fan-HX und somit weniger Verlustleistung	- kein LRU-Konzept für Fan	keine
4	Detektion der Vereisung des Wärmetauschers	- erhöhte Kühlleistung möglich, da Kühlzyklus variabel	- komplexe Regelung notwendig	keine
5	Einsparung der Drip-Water-Collector Funktion	- Gewichtseinsparung - bessere Isolation an den Schnittstellen HX-DWC und somit weniger Verlustleistung		- Tau- und Kondenswasser muss in Galley aufgefangen werden
6	Einbau der ACU "upside-down"	- Einsparung der Drip-Water-Collector Funktion - eventuell mehr Kühlleistung	- Eisbildung im Luftauslass des Fans möglich	- Tau- und Kondenswasser muss in Galley aufgefangen werden

Tabelle 6.1-1: Konzeptideen für die neue ACU

Für ein Konzept zur Detektion der Vereisung von ACU-Kühlern, wurde eine Literaturrecherche über Prinzipien der Vereisungserkennung durchgeführt, welche folgend bewertet wurden (Tabelle 6.1-2). 2 Prinzipien wurden ausgewählt, welche weiter untersucht werden sollten. Hierbei handelte es sich um die Messung mittels eines Schwingquarzes bzw. eines Dehnungsmeßstreifens.

Schwingquarze werden insbesondere bei der Beschichtung von Mikrobauteilen zur Ermittlung der aufgetragenen Schichtstärke verwendet. Bei der Recherche wurde auch eine Anwendung aus dem Luftfahrtbereich entdeckt, dort dient der Schwingquarz zur Erkennung von Eisbildung auf Flugzeugtragflächen.

Durch einen Dehnungsmeßstreifen könnte man die Biegung einer freistehenden Lasche messen, welche durch die aufwachsende Eismasse verursacht wird.

Beide Sensorprinzipien wurden für geeignet befunden, den Vereisungsgrad quantitativ zu bestimmen. Damit kann man das Vereisen der Kühlerlamellen frühzeitig erkennen und je nach Bedarf entgegenwirken.

Prinzip	Bewertung
Messung der Druckdifferenz	-
Messung der Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Volumenstrom,...	-
Messung über "Lichtschanke"	-
Messung über Dehnungsmessstreifen	+
Messung der Resonanzfrequenz eines Schwingquarzes	+++

Tabelle 6.1-2: Prinzipien zur Vereisungserkennung am Kühler der ACU

Zur Quantifizierung des geforderten Leistungszuwachses und zur Feststellung des Ist-Standes wurden im August 2007 Kühlleistungsmessungen mit einer ACU in der standardmäßigen Einbaulage durchgeführt. Nach Modifikation des Leistungs-Teststandes (Abb. 6.1-5) wurden erste Tests durchgeführt, mit denen das Konzept „ACU upside-down“ (Abb. 6.1-3)) überprüft werden konnte. Hierbei wurde eine ACU in umgekehrter Einbaulage getestet.

Die Idee war, dass die Leistung bzw. Effizienz der ACU gesteigert werden kann, wenn sich das Tauwasser vom Kühler leichter abtransportieren lässt. In umgekehrter Einbaulage kann das Tauwasser mit seiner Gewichtskraft in die Richtung wirken, wie die Strömung der gekühlten Luft. In der standardmäßigen Einbaulage (Abb. 6.1-4) muß das Gerät mehr Leistung bringen, um die gleiche Menge Tauwasser zu befördern, da die Luftströmung mit den Wassertropfen gegen die Erdgravitation arbeiten muß. Wenn weniger Wasser an den Kühlerlamellen verbleibt, bildet sich auch weniger Eis (Abb. 6.1-6 Abbildung 0.1-6), und über den Strömungsquerschnitt am Kühler kann ein größeres Luftvolumen gefördert werden.

Nach den ersten Tests war in der Tat eine deutliche Leistungssteigerung der ACU zu erkennen, von einer genauen Quantifizierung des Leistungsgewinns wurde aber abgesehen, da die Messergebnisse durch Toleranzen der Prüfstandsensoren und Varianz der Randbedingungen beeinflusst wurden und nicht ausreichend reproduzierbar waren.

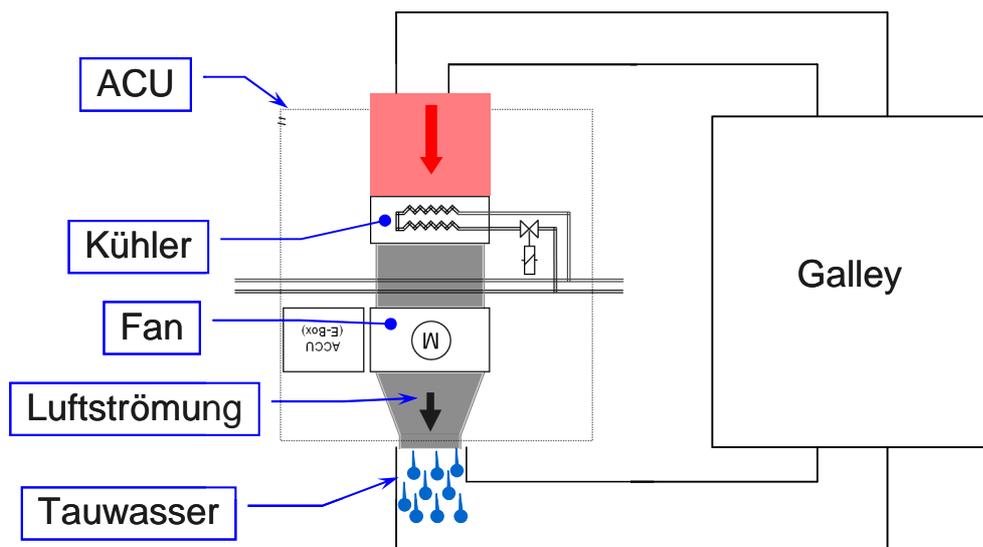


Abbildung 0.1-3: ACU in umgekehrter Einbaulage (upside-down)

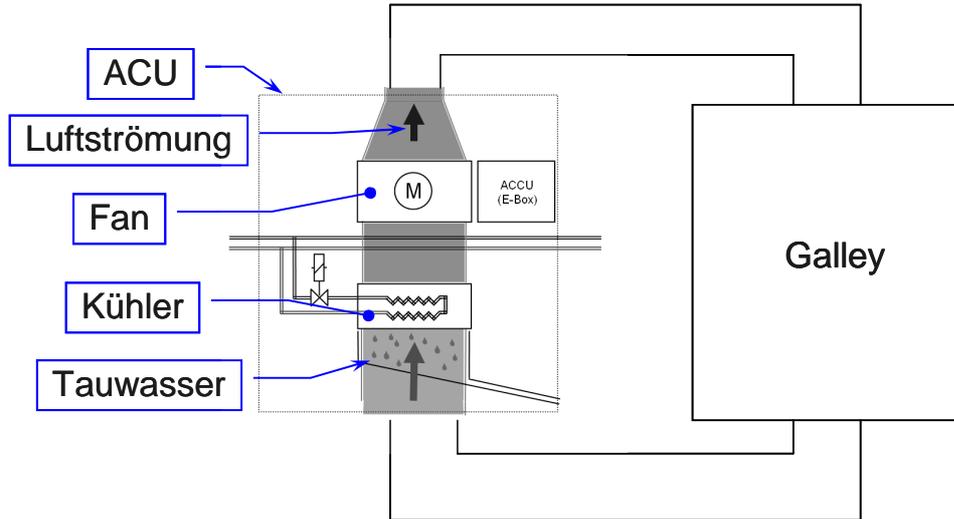


Abbildung 0.1-4: ACU in standardmäßiger Einbaulage

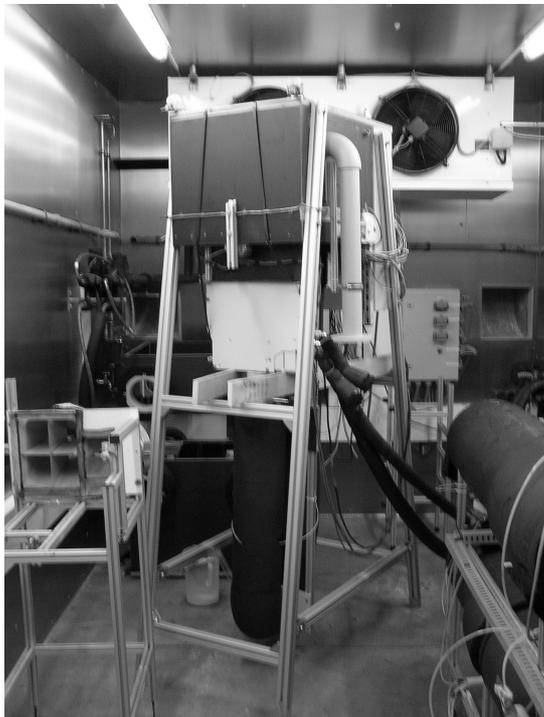


Abbildung 0.1-5: Leistungs-Teststand mit ACU in umgekehrter Einbaulage

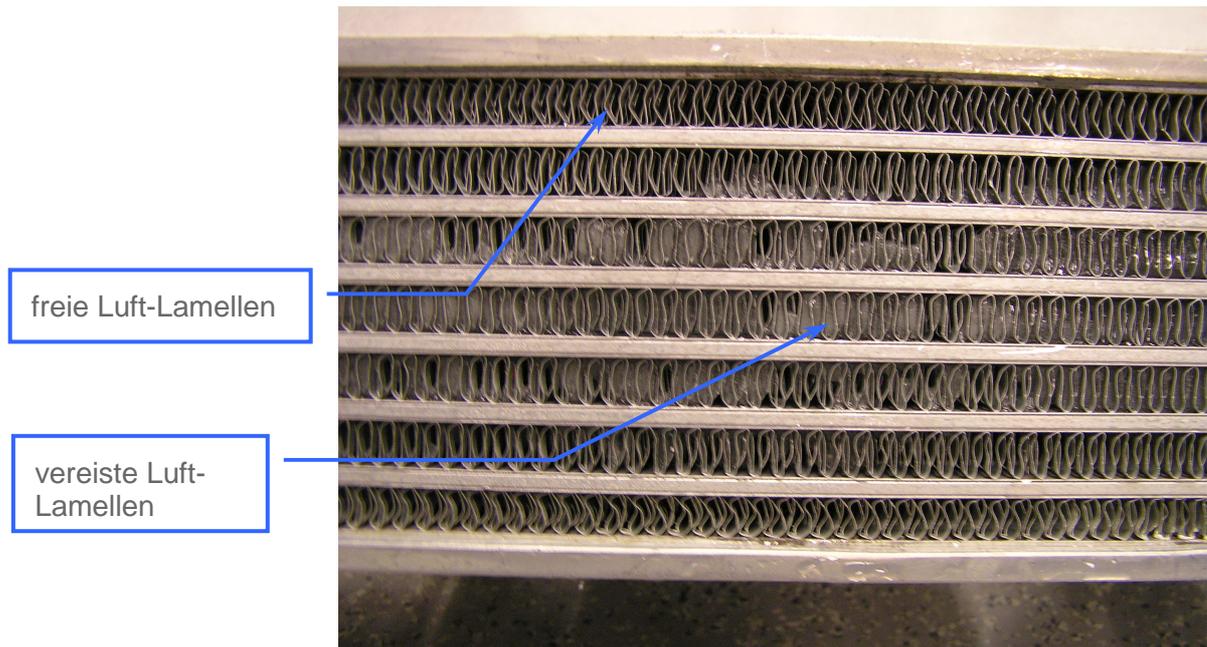


Abbildung 0.1-6: Teilweise vereiste Kühlerlamellen

Eine weitere Idee war es, die Kühlleistung der ACU durch die Berücksichtigung der aktuellen Umgebungsbedingungen wie Luftfeuchtigkeit, Lufttemperatur und Luftdruck zu steigern. Da diese aber nur mit Hilfe von Sensoren ermittelt werden können und jeder zusätzlich eingebrachte Sensor die Zuverlässigkeit der ACU senkt, musste ein Mittelweg gefunden werden. Geht man von den üblichen Werten für den Betrieb einer ACU während des Fluges und am Boden aus, kann grob zwischen 2 verschiedenen „Klassen“ von Umgebungsbedingungen unterschieden werden. Während der Flugphase findet die ACU „trockene Luft“ (30% rel. Luftfeuchtigkeit, Lufttemperatur 24°C, Luftdruck 760 mbar) vor. Für den Betrieb am Boden sind dagegen ungünstigere Umgebungsbedingungen anzunehmen, „feuchte Luft“ (70% rel. Luftfeuchtigkeit, Lufttemperatur 29°C und Luftdruck 1013mbar). Da sich am Kühler bei trockener Luft langsamer Eis bildet, könnte die Kühlphase durch einen hinausgezögerten Enteisungszyklus verlängert und damit mehr Kälteenergie in der gleichen Zeit in die Galley eingebracht werden. Zusätzlich könnte die Energie, welche zum Abtauen des Kühlers benötigt wird, während des Fluges reduziert werden.

Durch die oben erwähnten Testreihen sollten frühzeitig Teilkonzeptentscheidungen herbeigeführt und Schnittstellen der neuen ACU mit der Flugzeug-Galley festgelegt werden. Mit den Ergebnissen konnte bei einem Workshop mit den Verbundpartnern ein endgültiges Demonstrator-Konzept verabschiedet werden, welches gegenüber den ersten Konzepten einige weitere Ansätze beinhaltete (Abb. 6.1-7).

Requirement / Design-Merkmal	Lösungsalternativen für eine optimierte ACU		
Einbauposition der ACU in der Galley	Einbauposition wie "Stand der Technik" (Luftströmung nach oben)	Einbau Kopfüber (Luftströmung nach unten)	
Drip-Water-Collector Funktion (Wasserabscheidung)	Wasserabscheidung innerhalb ACU vor dem Kühler (Stand der Technik)	Realisierung der Wasserabscheidung in der Galley	Wasserabscheidung innerhalb ACU nach dem Kühler
Anschluss weiterer ACUs in der Galley ermöglichen (Bypass-Anschlüsse)	Realisierung über 2 zusätzlich fest installierte Anschlüsse an der ACU (Stand der Technik)	Realisierung über Verteiler außerhalb der ACU (Verwendung des Verteilers nur nach Bedarf)	keine Parallschaltung von ACUs (jede ACU hat eigene Versorgungsleitung)
Volumenstromregelung des Kühlmittels	Coolant Switch Valve (CSV) (Schaltventil) (offen / geschlossen)	Coolant Control Valve (CCV) (Proportionalventil)	
Steigerung der maximalen Leistung	Kompromiss-Lösung: Verwendung von Kühlerlamellen mit guter Kühlleistung bei feuchter <u>und</u> trockener Luft (Stand der Technik)	Kühler wie Stand der Technik aber bessere Ableitung des Kondenswassers an den Kühlerlamellen -> geringere Eisbildung	Verwendung von Kühlerlamellen mit sehr guter Kühlleistung bei trockener Luft und schlechtere Kühlleistung bei feuchter Luft
Steigerung der Effizienz	Regelung eingeschränkt variabel Regelung ist auf den extremsten Betriebsfall ausgelegt (Stand der Technik)	Regelung eingeschränkt variabel (Regelung über vorgegebene Werte und Szenarien, 2 Betriebsarten: "Flight Case" und "Ground Case")	Regelung variabel Regelung reagiert auf die Umgebungsbedingungen (z.B. Vereisungssensor)
Berücksichtigung der Eisbildung am Kühler zur Steuerung des Enteisungszyklus	Bestimmung des Volumenstroms durch Messung der Leistungsaufnahme am Ventilators	Vereisungssensor z.B. Microbalance-Methode (Schwingquarz)	Steuerung durch empirisch ermittelte Werte
Konzepte	Demonstrator-Variante: - Realisierung innerhalb des laufenden KABTEC-Projektes Variante zur erweiterten Optimierung: - Ist innerhalb des laufenden KABTEC-Projektes nicht realisierbar, da größerer Entwicklungsaufwand der Galley notwendig wäre.		

Abbildung 0.1-7: Morphologischer Kasten mit Konzeptentscheidung

Da Konzept Nr. 3 (Tabelle 6.1-1) nur mit Änderungen an den Gußwerkzeugen und damit nicht innerhalb des gegebenen Projektbudget realisierbar gewesen wäre, wurde es nicht weiter verfolgt.

Das Konzept Nr. 5 (Tabelle 6.1-1), Einsparung des DWC's (Drip-Water-Collector), hätte für den Verbundpartner zusätzlichen Entwicklungsaufwand bedeutet, da das Auffangen des Kondenswassers, zentral in der Galley hätte realisiert werden müssen. Deswegen wurde auch dieses Konzept trotz seiner Vorteile nicht für den Demonstrator berücksichtigt.

Gemäß Konzept Nr. 4 war ein Vereisungssensor zur Detektion von Eis am Kühler angedacht. Auch dieses Konzept wurde nicht weiter verfolgt, da zum einen ein defekter

07.Juli 2010		20
--------------	--	----

Sensor zum Verlust eines wichtigen Regelparameters führen würde und die ACU damit betriebsunfähig wäre, zum anderen mit einer leichter umsetzbaren, 2-stufigen Regelung des Enteisungsvorgangs (s. folgender Abschnitt) bereits eine spürbare Verbesserung der Kühlleistung realisierbar erschien.

5.1.3. Erstellung Bauunterlagen und Aufbau des Demonstrators

Ab Juli 2008 wurden CAD-Modelle (Abb. 6.1-8/Abbildung 0.1-8) und Bauunterlagen für ein Labormuster erstellt. Grundlage war die in Abb. 6.1-7 grün markierte Demonstrator-Variante.

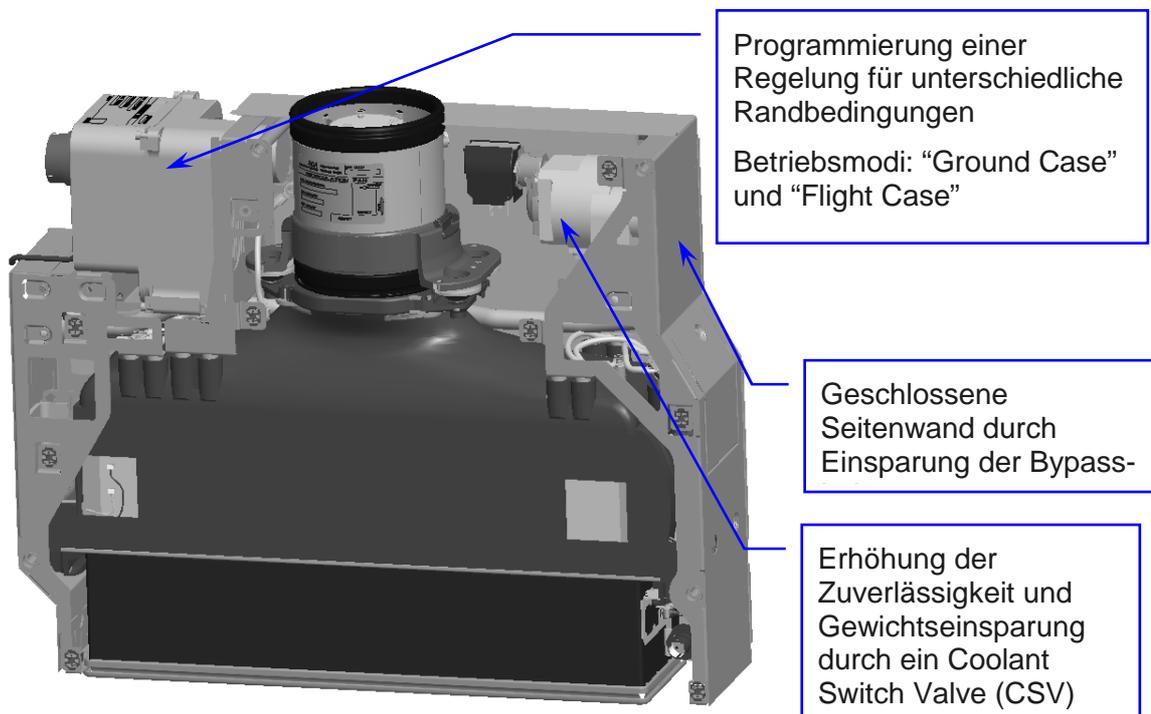


Abbildung 0.1-8: CAD-Modell des Demonstrators (vereinfachte Darstellung)

Neues CCV-Prinzip

Der erste Prototyp einer Unterbaugruppe war ein digital schaltendes Kühlmittel-Ventil , welches aufgrund seiner Funktionalität folgend als CSV (Coolant Switch Valve) bezeichnet wurde (Abb. 6.1-9). Im Unterschied zum bisherigen CCV ist es kein proportional regelndes Ventil mehr, sondern kennt nur die Betriebszustände offen und geschlossen. Das CSV wird indirekt durch einen Magneten gesteuert, welcher durch seine Bewegung eine Druckausgleichbohrung öffnet oder verschließt. Dadurch stellt sich ein Druckunterschied vor und hinter der Dichtmembran ein, der die Membran an der Dichtfläche öffnet oder schließt.

07.Juli 2010		21
--------------	--	----

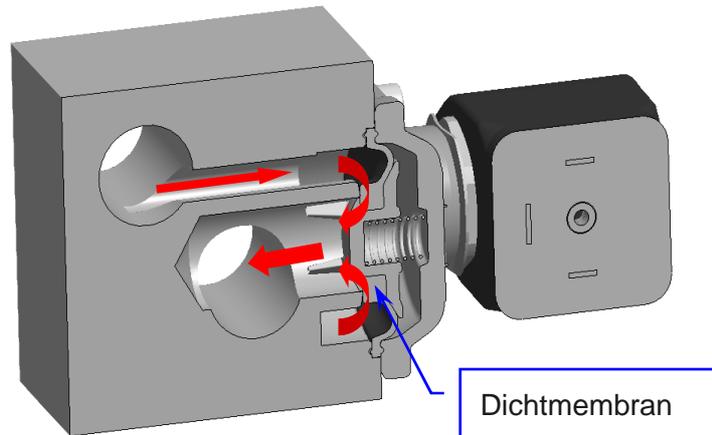


Abbildung 0.1-9: Querschnitt durch CAD-Modell des CSV (Coolant Switch Valve)

Mit dem CSV-Prototyp (Abb. 6.1-10 und 6.1-11) wurde gegenüber dem CCV (Stand der Technik) eine Masse von 0,22 kg eingespart und der hydraulische Druckverlust bei einem Nenndurchfluss von 8,5 l/min um 0,2 bar reduziert.



Abbildung 0.1-10: CSV-Prototyp

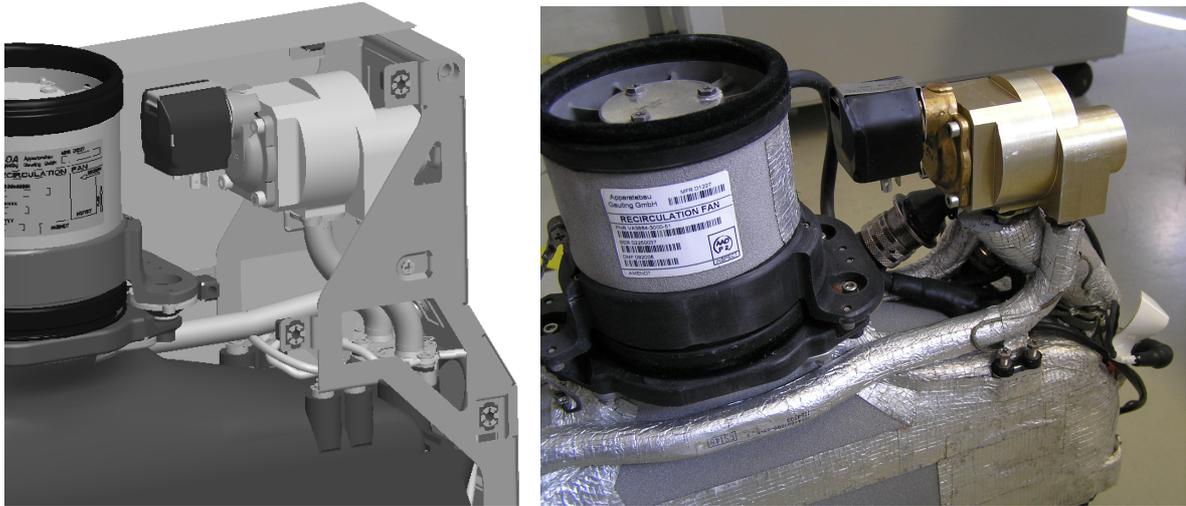


Abbildung 0.1-11: CAD-Modell (links) mit CSV und Umsetzung im Demonstrator (rechts)

Wegfall der Bypass-Leitungen

Weitere Gewichtseinsparungen konnten durch den Wegfall der Bypass-Leitungen (Abb. 6.1-12) realisiert werden. Die Bypass-Leitungen werden nur für einige wenige Flugzeug-Konstellationen verwendet, das Gewicht dieser optionalen Funktion trägt aber mit 0,33 kg einen nicht zu vernachlässigenden Anteil am Gerätegewicht bei. Werden in einem Flugzeug durchschnittlich 14 ACU's ohne Bypass installiert, werden 4,62 kg eingespart.

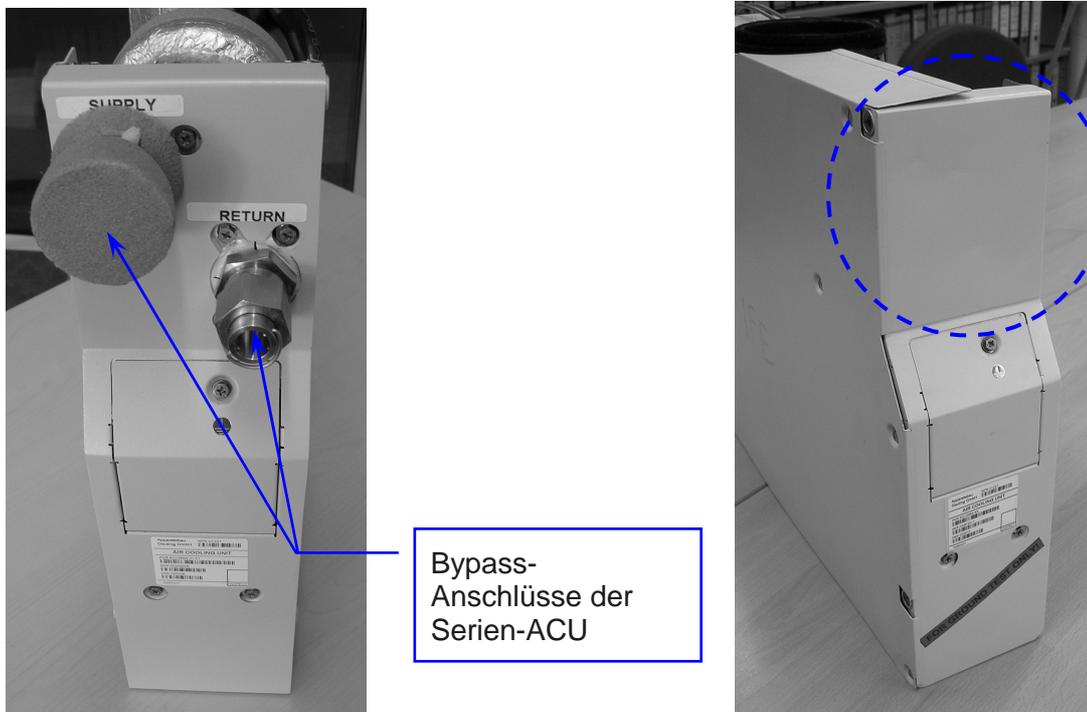


Abbildung 0.1-12: ACU (links) mit Bypass-Anschlüssen und ACU-Demonstrator (rechts) ohne

Abb. 6.1-13 zeigt den ACU-Demonstrator mit den in Abb. 6.1-7 dargestellten Maßnahmen. Zur Ansteuerung des neuen Kühlmittelventils CSV wurde ein Relais aufgebaut, worüber die modifizierte ACU-Software mit einem Signal das Ventil öffnen oder schließen kann.

Realisierung einer neuen, 2-stufigen Enteisungslogik

Bei der Auswertung diverser Vorversuche am ACU-Prüfstand (Abb. 6.1-14) entstand die Idee, einen 2-stufigen Regelalgorithmus für die Enteisung zu definieren, entsprechend den Betriebsmodi „Ground Case“ und „Flight Case“. Durch ein Signal, das von der Bordelektronik des Flugzeugs über den Signalstecker an die ACU-Elektronik-Box übergeben werden könnte, erkennt die Software, ob das Flugzeug sich am Boden (Ground-Case) befindet oder fliegt (Flight-Case) und schaltet in den entsprechenden Betriebsmodus der ACU.

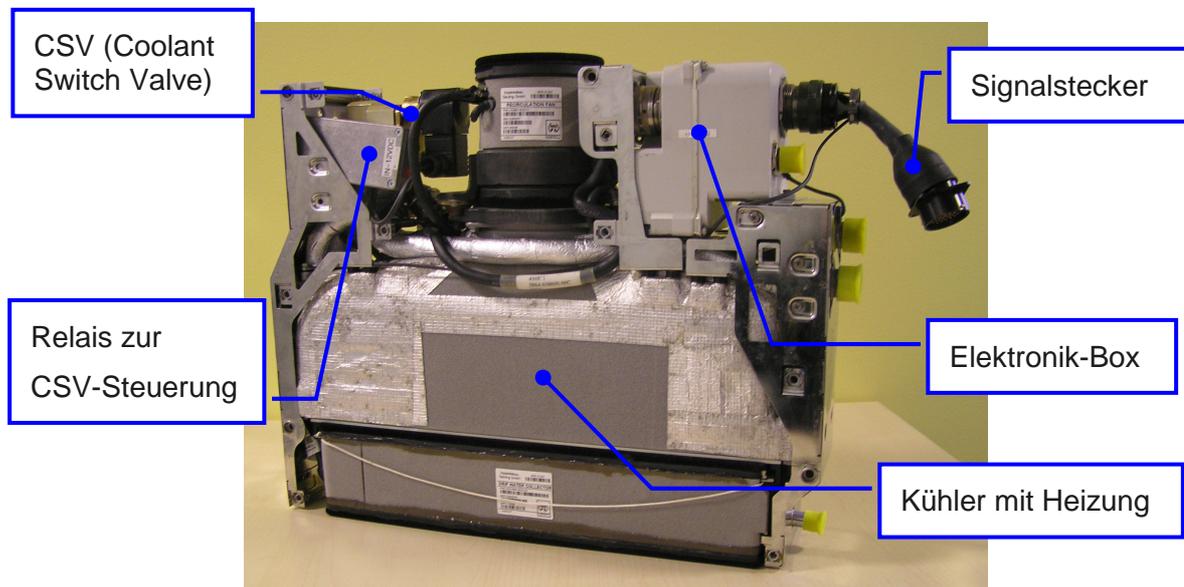


Abbildung 0.1-13: ACU-Demonstrator ohne Abdeckbleche

Anhand der Versuchsergebnisse wurden die Regelparameter der 2-stufigen Regelung für die Programmierung der Software ermittelt. Da zum Zeitpunkt der Tests keine Daten über Luftfeuchtigkeit, Luftdruck, etc. aus Flugtests zur Verfügung standen, wurden die Randbedingungen für „Flight-Case-Condition“ aus der Spezifikation 2159 M1E 0004 00 der Standard-ACU übernommen. Ziel dieser Tests war es, den Kühlzyklus unter „Flight-Case-Condition“ manuell so lange hinauszuzögern, bis der Luftvolumenstrom der ACU unter 80l/s gefallen ist. Dieser Zustand tritt ein, wenn die Kühlerlamellen der ACU bereits erheblich vereist sind. Da während des Fluges die Luft zunehmend trockener wird, kann die Zeit zwischen zwei Defrost-Zyklen verlängert werden. Die Länge eines Defrost-Zyklus beträgt ca. 10 min, in dieser Zeitspanne muß elektrische Energie bereitgestellt werden, um den Kühler der ACU mit einer Heizung zu enteisen.

07.Juli 2010		24
--------------	--	----

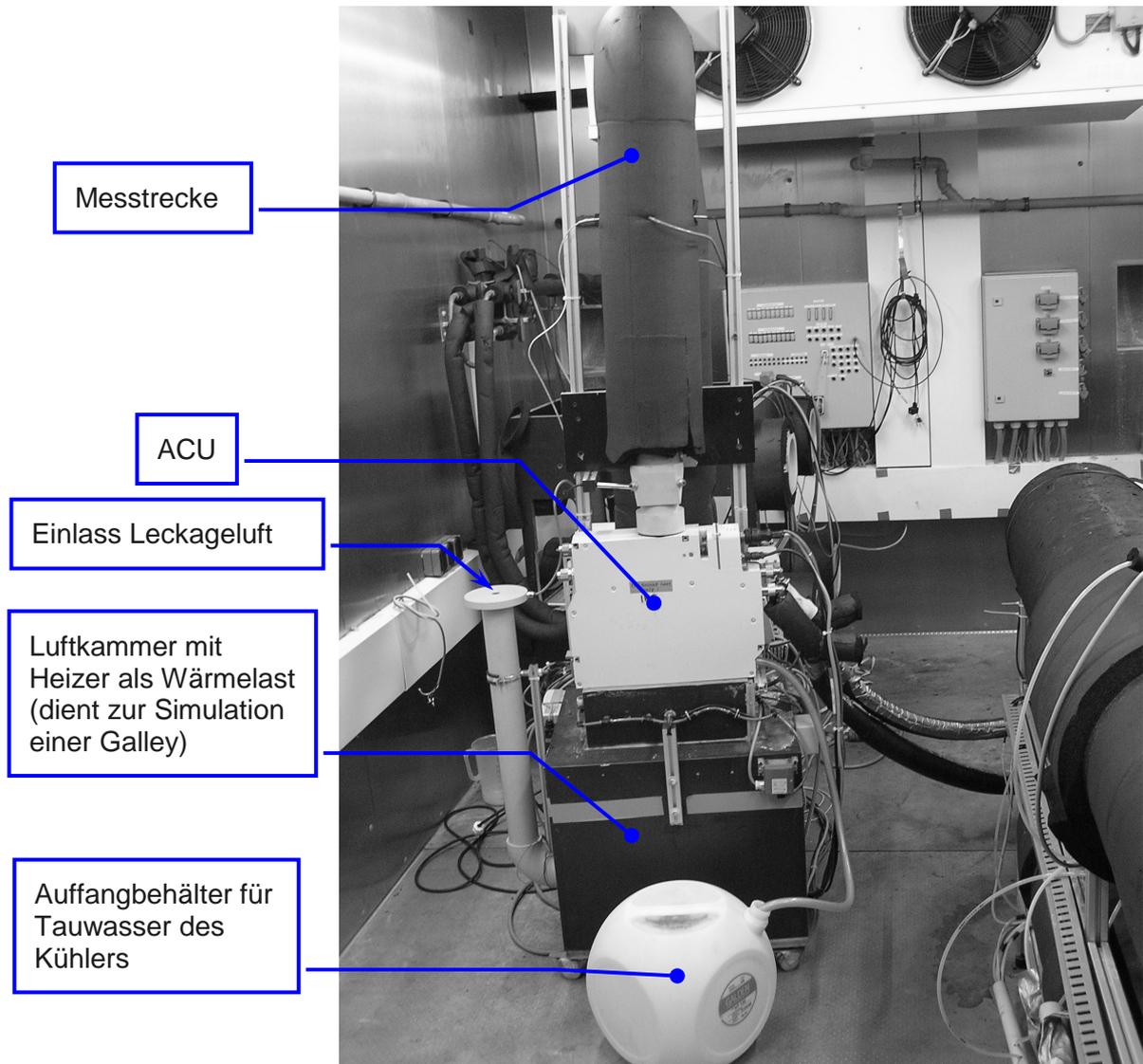


Abbildung 0.1-14: ACU-Performance-Teststand

Die verwendeten Randbedingungen der Tests waren:

- Zieltemperatur (Lufteinlass ACU): +4 °C (±1°C)
- Kühlmittel: Galden® HT135
- Volumenstrom Kühlmittel: 8,5 ltr/min
- Kühlmittel Eingangstemperatur: -8°C
- Luftvolumenstrom ACU: 120l/s - 80l/s
- Leckage der Galley: 3% vom Luftvolumenstrom der ACU

Umgebungsbedingungen für „Flight-Case-Condition“:

Relative Luftfeuchtigkeit Leckageluft: 30%

Temperatur Leckageluft: 24°C

Luftdruck: ambient

Die Messwertaufzeichnung des Tests wurde begonnen, nachdem die Zielwerte der Flight-Case-Umgebungsbedingungen erreicht waren. Durch die Kondensation der Luftfeuchtigkeit an den Kühlerlamellen vereiste der ACU-Kühler kontinuierlich und der Luftvolumenstrom sank bis auf 80l/s. Zu diesem Zeitpunkt wurde der Kühlzyklus manuell beendet und der Defrostzyklus (ca. 10 min) gestartet.

In Abb. 6.1-15 sind die Kühlzyklen 2-4 dargestellt, welche nach einer Dauer von 80min bzw. 89 min ihren Endzustand erreicht hatten. Dass der 3. Kühlzyklus 9 min länger dauerte als die Zyklen 2 und 4, könnte daran liegen, dass der Galden-Volumenstrom zu Beginn des 3. Zyklus im Vergleich zu den übrigen Zyklen etwas geringer war und dadurch weniger Kälteenergie in den Kühler eingebracht wurde. Diese Vermutung ließ sich zusätzlich durch den Luftvolumenstrom im 3. Zyklus bestätigen, da dieser durch die geringere Vereisung des Kühlers länger auf dem Anfangsniveau verblieben ist.

Die Kühlzyklusdauer wurde mit einer Dauer von 80 min als Stationär betrachtet, da dieser Abfolge für drei aufeinanderfolgende Kühlzyklen bestand.

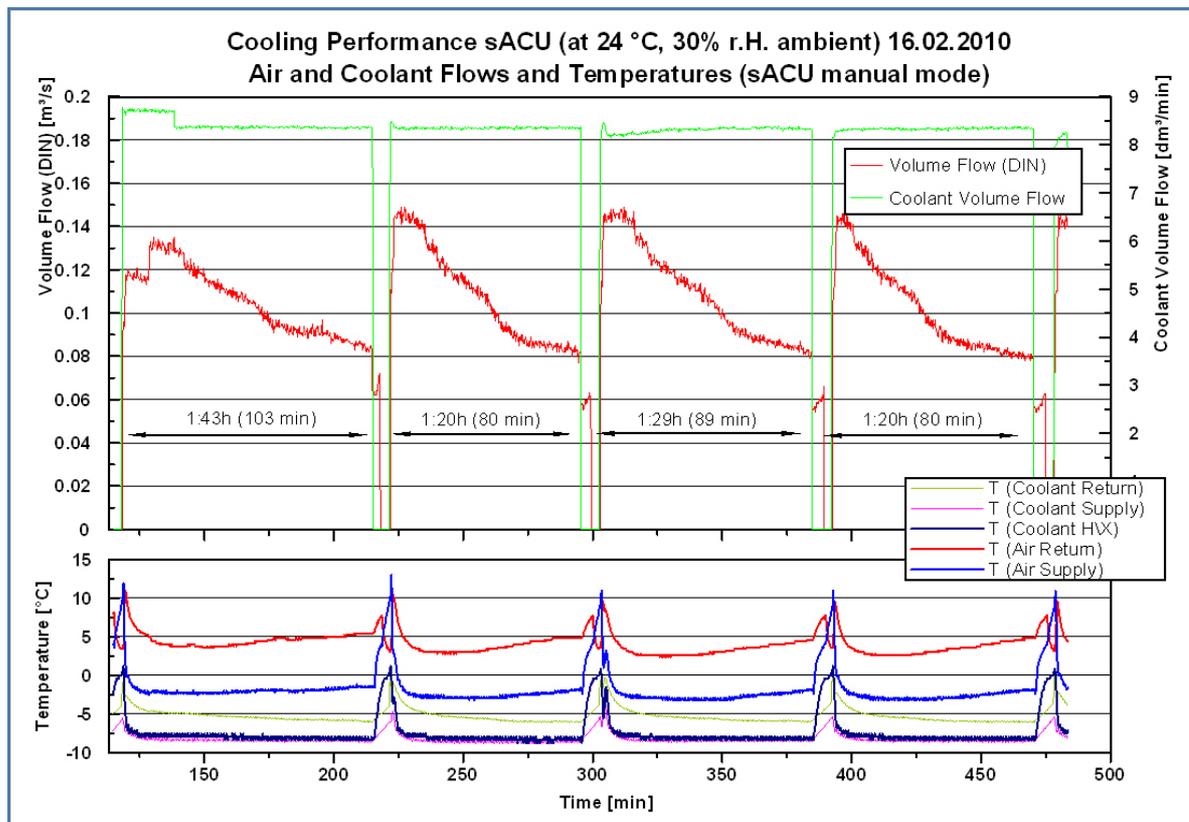


Abbildung 0.1-15: Bestimmung Kühlzyklus

In Tabelle 6.1-3 sind nochmals die wichtigsten umgesetzten Maßnahmen zur Optimierung einer ACU als modulares Galley-Kühlgerät aufgelistet.

Requirement / Design-Merkmal	Einsparung / Gewinn	Auswirkungen auf Galley bzw. A/C	Umsetzung in ACU-Demonstrator
1 Einsparung der Bypass-Anschlüsse	- Gewichtseinsparung - Minimierung des Kühlleistungsverlust und Vermeidung von Kondensation	- Verbindung einer 2. ACU muss bei Bedarf über eine Verzweigung flugzeugseitig realisiert werden. - Gewichtseinsparung je nach Anzahl der benötigten ACUs - Treibstoffverbrauch des Flugzeugs sinkt	Ja
2 Neues CCV-Prinzip (digital schaltend)	- geringer hydraulischer Druckverlust - Gewichtseinsparung - Erhöhung der Zuverlässigkeit	- geringerer Druckverlust über das Gesamtsystem (SCS) - Gewichtseinsparung je nach Anzahl der benötigten ACUs - Treibstoffverbrauch des Flugzeugs sinkt	Ja
3 Detektion der Vereisung am Wärmetauscher	- Einsparung von Kühlleistung Galdenseitig / Es wird nur Heizleistung in den Kühler eingebracht, wenn es notwendig ist (Verzögerung Defrostzyklus)	- Energieeinsparung im Gesamtsystem (SCS) bzw. in CRU - Treibstoffverbrauch des Flugzeugs sinkt	Nein
4 Mehrstufige Regelung (Flight- und Ground-Case)	- Einsparung von Defrostzyklen: Es wird weniger elektrische Energie verbraucht	- Energieeinsparung im Gesamtsystem (SCS) bzw. weniger Stromverbrauch - Treibstoffverbrauch des Flugzeugs sinkt	Ja
5 Einsparung der Drip-Water-Collector Funktion	- ca. 0,24kg Gewichtseinsparung - Verringerung des luftseitigen Druckabfalls über den DWC	- Kondens- bzw. Tauwasser muss in Galley aufgefangen werden - Gewichtseinsparung je nach Anzahl der benötigten ACUs - Treibstoffverbrauch des Flugzeugs sinkt	Nein
6 Einbau der ACU "upside-down"	- mehr Kühlleistung, da durch bessere Ableitung des Kondens- bzw. Tauwassers, der Luftvolumenstrom auf einem hohen Niveau gehalten werden kann - Gewichtseinsparung - schätzungsweise 10% Leistungsgewinn	- Kondens- bzw. Tauwasser muss in Galley aufgefangen werden - Gewichtseinsparung je nach Anzahl der benötigten ACUs - Treibstoffverbrauch des Flugzeugs sinkt	Nein

Tabelle 6.1-3: Geplante/ umgesetzte Maßnahmen und deren Auswirkungen

5.1.4. Test und Verifikation

Bereits beim Aufbau des ACU-Demonstrators konnte die Gewichtseinsparung verifiziert werden, sie betrug 550 g bzw. 5%. Bezogen auf das Flugzeug ergibt sich daraus ein Einsparpotential (A380: 14 ACU's) von 7,7 kg.

Um die neue Regelung und Software zu verifizieren, wurde der Demonstrator einer Testreihe mit Funktionstests unterzogen. Hierbei wurde der Demonstrator auf dem Performance-Teststand über Pin-Programmierung in den „Ground-Case-Modus“ (Abb. 6.1-16) bzw. „Flight-Case-Modus“ (Abb. 6.1-17) versetzt. Durch die für das Projekt programmierte Regelung war sichergestellt, dass der Demonstrator selbständig die Kühl- und Defrostzyklen durchläuft. In den Diagrammen ist zu erkennen, dass die Messwerte gleichmäßig um einen Mittelwert schwanken. Diese Temperaturschwankungen werden durch das digital schaltende Ventil (CSV) verursacht, welches je nach Schaltung die größtmögliche (8,5l/min) oder gar keine Kälteenergie in den Kühler einbringt. Bedenken, daß hydraulische Druckschläge im zentralen Kühlsystem durch das Öffnen und Schließen des CSV entstehen könnten, lassen sich entkräften, da sich durch Modifikation der CSV-Membran eine geforderte Schließzeit von 2 Sekunden einstellen lässt.

07.Juli 2010		27
--------------	--	----

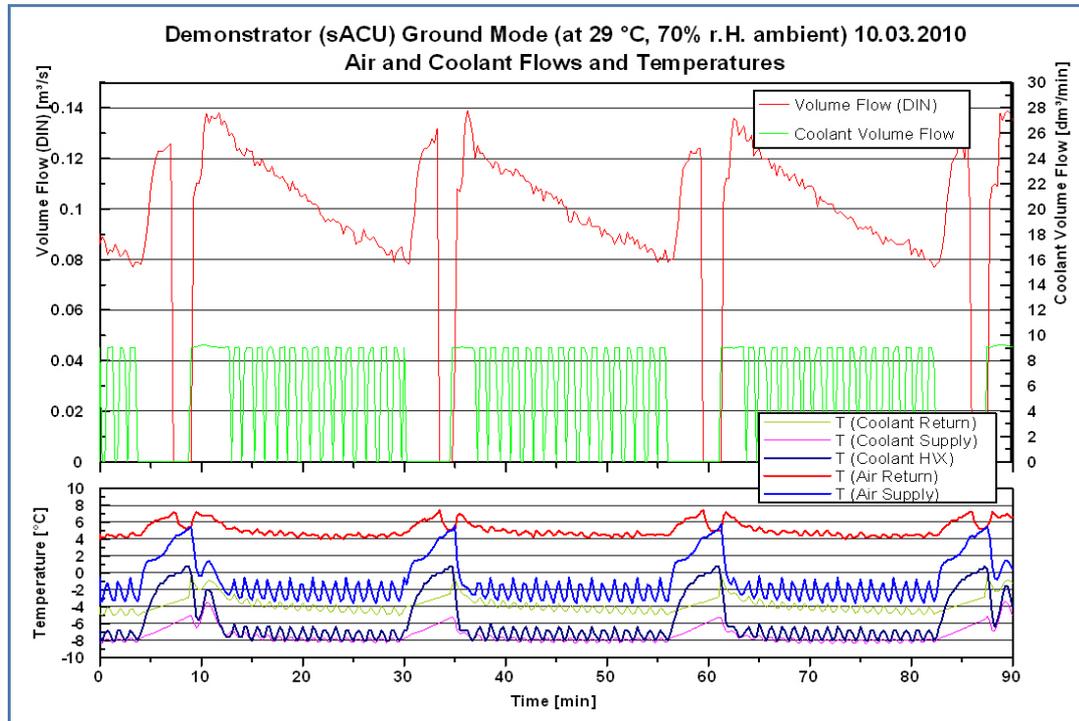


Abbildung 0.1-16: Automatischer Betrieb des Demonstrators im Ground-Case-Mode

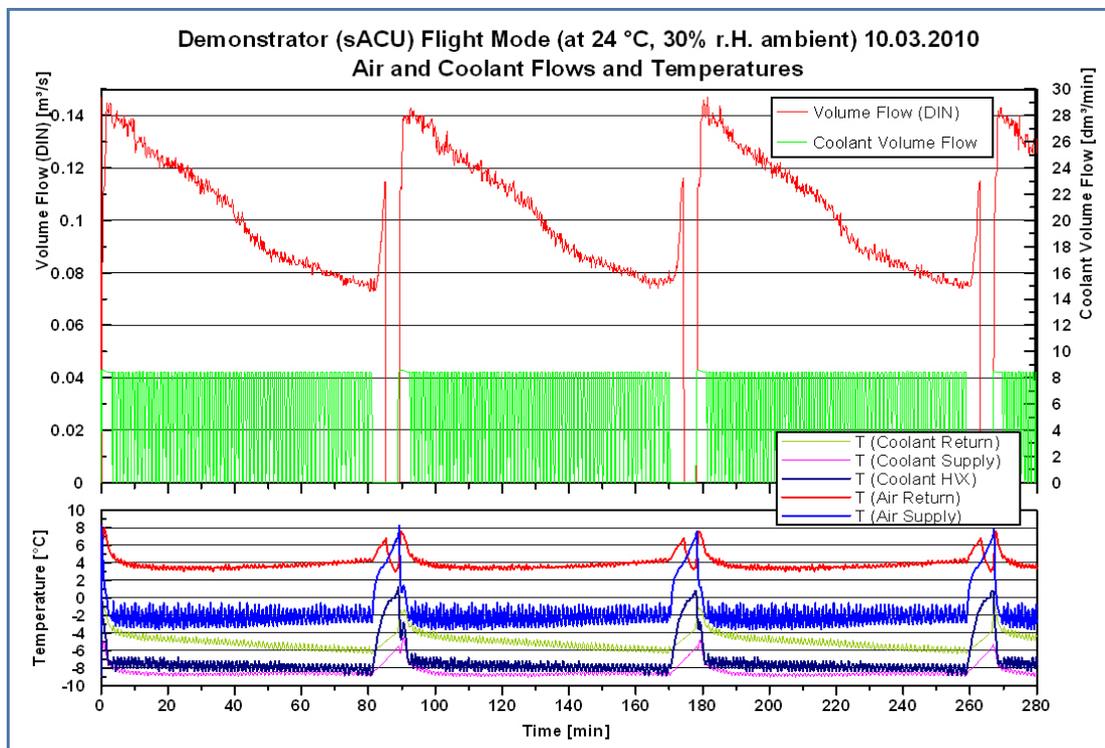


Abbildung 0.1-17: Automatischer Betrieb des Demonstrators im Flight-Case-Mode

Bei der Auswertung der Schaltzyklen des CSV's wurde eine durchschnittliche Schaltfrequenz von 1/min festgestellt. Berechnet man die minimale Lebensdauer des Ventils, das ohne jegliche Schäden einen Dauertest mit 630.909 Schaltzyklen absolviert hat, erhält man ca. 10.500 Betriebsstunden. Da es sich um ein handelsübliches Magnetventil handelt, darf man ohne Bedenken mit einer Lebensdauer von über 2Mio. Schaltzyklen bzw. 33.000 Betriebsstunden ausgehen, was sich mit der geforderten Lebensdauer einer ACU von 30.000 Stunden deckt.

Während des Funktionstests der ACU wurde auch der elektrische Leistungsverbrauch aufgezeichnet (Abb. 6.1-18). Das Diagramm zeigt, dass der Fan während des Kühlzyklus im Schnitt 200 W verbrauchte, während des Defrost-Zyklus nur noch 55 W. Die Heizungen tragen während der Enteisung (Defrost) mit 355 W den größten Anteil. Wird der Leistungsverbrauch von Defrost- und Kühlzyklus verglichen, benötigt die ACU während des Defrost-Zyklus im Schnitt 210 W mehr elektrische Leistung.

Berechnung des Einsparungspotenzials:

Gegeben ist:

- Ground-Case-Zyklus (30min): 20 min Kühlung + 10 min Defrost (davon 8 min mit Heizlast)
- Flight-Case-Zyklus (90min): 80 min Kühlung + 10 min Defrost (davon 8min mit Heizlast)

Durchschnittlicher Energieverbrauch pro Stunde:

- Ground-Case: $2 \text{Zyklen} \times (20 \text{ min} \times 200 \text{ W} + 8 \text{ min} \times 410 \text{ W}) = \underline{\underline{0,243 \text{ kWh}}}$
- Flight-Case: $\frac{2}{3} \text{Zyklen} \times (80 \text{ min} \times 200 \text{ W} + 8 \text{ min} \times 410 \text{ W}) = \underline{\underline{0,214 \text{ kWh}}}$

Durchschnittliche Energieeinsparung pro Flugstunde: $0,243 \text{ kWh} - 0,214 \text{ kWh} = \underline{\underline{0,029 \text{ kWh}}}$

Die Einsparung von elektrischer Leistung beträgt im Vergleich mit dem Stand der Technik ca. 12%.

Wird davon ausgegangen, dass die durchschnittliche Flugdauer 7,5 Stunden beträgt und wie am Beispiel des Flugzeugs A380 im Mittel 14 ACUs pro Flugzeug installiert werden, könnten insgesamt über 3 kWh pro Flug eingespart werden.

Fazit:

Zusammenfassend ist festzuhalten (vgl. Tabelle 6.1-4), daß durch die im Projekt erzielten Ergebnisse pro Gerät 0,55kg Gewicht und 0,029kWh elektrische Energie pro Flugstunde eingespart werden.

Wäre das Konzept der ACU „upside-down“ in den Demonstratorbau eingeflossen, hätten zusätzlich noch ca. 0,24kg eingespart und mehr als 10% neue Kühlleistung zur Kühlung der Galley-Compartments geliefert werden können.

07.Juli 2010		29
--------------	--	----

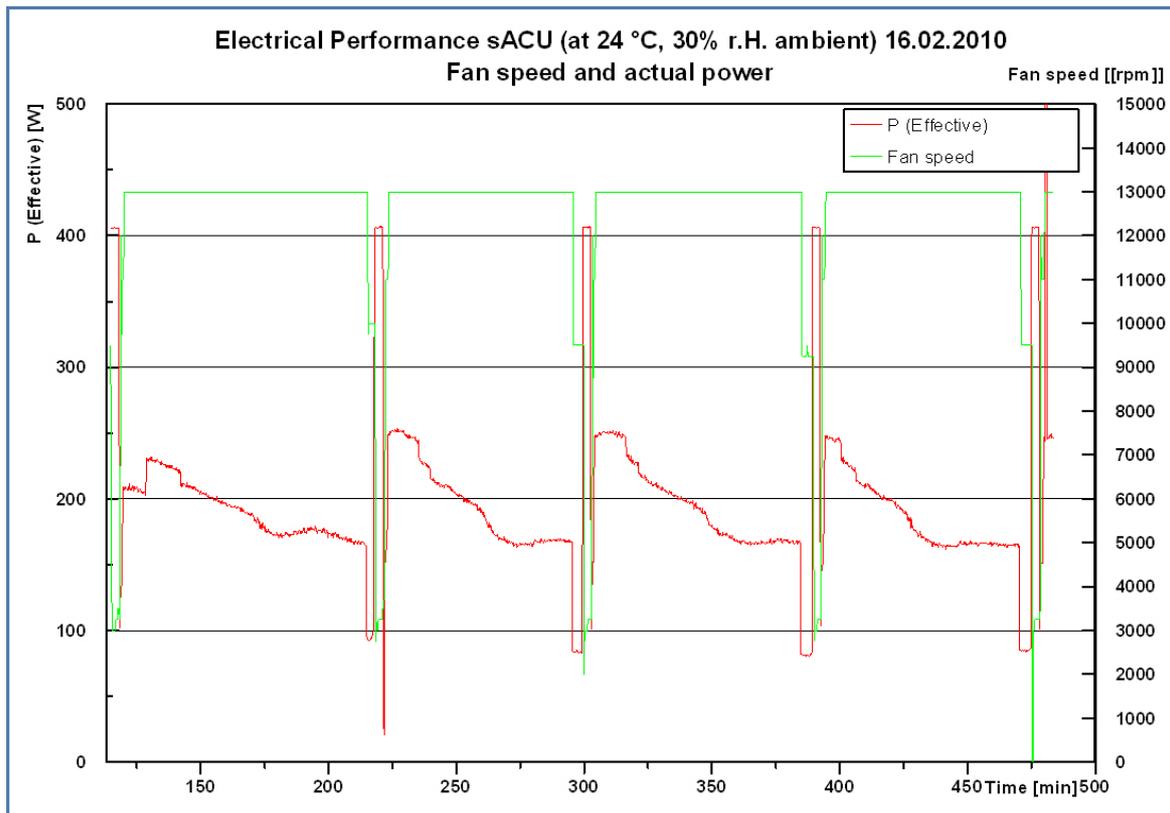


Abbildung 0.1-18: Elektrische Leistungsaufnahme

Requirement / Design-Merkmal	Einsparung / Gewinn	Verifikations- / Validationsergebnisse	Umsetzung in ACU-Demonstrator
1 Einsparung der Bypass-Anschlüsse	- Durch Gewichtseinsparung im Flugzeug, sinkt der Treibstoffverbrauch - Minimierung des Kühlleistungsverlust und Vermeidung von Kondensation	- 0,33kg Gewichtseinsparung	Ja
2 Neues CCV-Prinzip (digital schaltend)	- geringer hydraulischer Druckverlust - Durch Gewichtseinsparung im Flugzeug, sinkt der Treibstoffverbrauch - Erhöhung der Zuverlässigkeit	- 0,22kg Gewichtseinsparung - 0,22bar geringer Druckverlust (hydr.) - Zuverlässigkeit: Dauertest in Galden mit 630909 Zyklen (24sec/Zyklus = ca. 4206h) ohne Funktionsstörung	Ja
3 Detektion der Vereisung am Wärmetauscher	- Einsparung von Kühlleistung Galdenseitig / Es wird nur Heizleistung in den Kühler eingebracht, wenn es notwendig ist (Verzögerung Defrostzyklus)	Keine Verifizierung, da nicht im Demonstrator umgesetzt	Nein
4 Mehrstufige Regelung (Flight- und Ground-Case)	- Einsparung von Defrostzyklen: Es wird weniger elektrische Energie verbraucht, wodurch weniger Treibstoff zur Erzeugung elektrischer Energie benötigt wird	- Einsparung elektrischer Energie pro ACU und Flugstunde von 0,029kWh - Einsparung gegenüber dem Stand der Technik von ca. 12%	Ja
5 Einsparung der Drip-Water-Collector Funktion	- ca. 0,24kg Gewichtseinsparung pro ACU - Durch Gewichtseinsparung im Flugzeug, sinkt der Treibstoffverbrauch - Verringerung des luftseitigen Druckabfalls über den DWC	Keine Verifizierung, da nicht im Demonstrator umgesetzt	Nein
6 Einbau der ACU "upside-down"	- mehr Kühlleistung, da durch bessere Ableitung des Kondens- bzw. Tauwassers, der Luftvolumenstrom auf einem hohen Niveau gehalten werden kann - Durch Gewichtseinsparung im Flugzeug, sinkt der Treibstoffverbrauch - schätzungsweise 10% Leistungsgewinn	- ca. 0,24kg Gewichtseinsparung - mehr als 10% Leistungsgewinn - Effizienzsteigerung des Kühler	Nein

Tabelle 6.1-4: Verifikations- und Validationsmatrix

5.2. AP 2 Bidet-Toilette

5.2.1. AP2.1 – Definition der Anforderungen an eine modulare Bidet Toilette

Ziel von AP 2 war die Entwicklung einer modularen Toilette mit Bidetfunktion unter Berücksichtigung der Schnittstellen zur übergeordneten Architektur der Lavatory. Zusätzlich wurde untersucht, ob neue am Markt erhältliche Beschichtungen mit verbesserten Eigenschaften existieren.

Ausgelöst durch den kontinuierlich steigenden Anspruch an den Komfort in modernen Langstreckenflugzeugen wird vermehrt nach einer Bidet-Funktion in Flugzeugtoiletten gefragt. Innerhalb dieses Projektes wurde untersucht, inwieweit eine solche Funktion in eine konventionelle AOA-Toilette integriert werden kann. Ähnliche Lösungen existieren bereits für den Markt der Haushaltsgeräte. Hier sei z.B. das Washlet genannt, das in Japan und China sehr weit verbreitet ist. Durch die hohe Verbreitung im privaten Bereich und den hygienischen Mehrwert einer solchen Toilette versprechen sich die Airlines eine schnelle Akzeptanz bei den Passagieren.



Abbildung 6.2-1: Washlet der Firma TOTO LTD

Das hier gezeigte WashLet der Firma TOTO LTD. wird auf den normalen Toilettenkörper montiert. Wenn es an die Wasserversorgung angeschlossen ist, kann über das Bedienpult die Bidetfunktion genutzt werden.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt betrifft die flexible Integration der gesamten Lavatory in der Flugzeugkabine. Der AOA-Anteil ist dabei, die Anbindung der Toilette an das Wasser- und Abwassersystem entsprechend flexibel zu gestalten. Bisher sind in diesem Bereich noch keine Analysen erfolgt.

Im dritten Teil des AP 2 sollte eine bereits früher durchgeführte Analyse verfügbarer Beschichtungen der Toilettenschüssel aktualisiert werden. Wichtigstes Kriterium sind gute Antihafteigenschaften, um Rückstände innerhalb der Toilettenschüssel beim Spülvorgang zu vermeiden. Daneben bieten sie Korrosionsschutz und Möglichkeiten zur farblichen Gestaltung, sollen leicht zu reinigen und kratzfest sowie möglichst antimikrobiell wirksam sein.

07.Juli 2010		31
--------------	--	----

Im Arbeitspaket 2 arbeiteten die folgenden Projektpartner zusammen:

- Airbus Operations GmbH
- Diehl Aerospace GmbH
- Dasell Cabin Interior GmbH
- AOA apparatebau gauting GmbH

Als Ergebnis von AP 2.1 wurde eine Spezifikation erstellt, in der neben einem detailliert aufgeschlüsselten Zeitplan alle Anforderungen und Randbedingungen für die modulare Bidet-Toilette zusammengefasst sind.

5.2.2. AP2.2 – Konzepte für die modulare Bidet Toilette und verbesserte Oberflächen

Bidet-Funktion

In der Luftfahrt existiert bisher keine Toilette mit einem integrierten Bidet. Es wurden daher zunächst mögliche Konzepte erstellt und bewertet. Grundsätzlich wurde zunächst zwischen einer ausfahrbaren Bidet-Nozzle und einer extern angebrachten Nozzle unterschieden, insgesamt wurden dazu 5 Varianten aufgestellt.

(*): Dieses Kriterium wurde als „No go“-Kriterium eingestuft und führte zur Eliminierung der als starres Rohr integrierten Nozzle.

Tab. 6.2- zeigt die Zusammenfassung und Bewertung der betrachteten Varianten.

Hierbei hat zunächst die externe Nozzle einen deutlichen Vorsprung gegenüber den beweglichen Varianten erzielt. Einen wesentlichen Aspekt, den die Matrix leider in dieser Darstellung nicht berücksichtigt, ist allerdings die Möglichkeit des Missbrauchs durch einen Nutzer, mit dem Risiko der Wasserkontamination außerhalb der Toilettenschüssel oder sogar der Lavatory. Bei der Abstimmung der Konzepte mit Airbus hat sich herausgestellt, dass eine externe Lösung wegen dieses Risikos nicht akzeptabel ist.

Weiterhin ist in den ersten Überlegungen neben der beweglichen Düse eine starre, in der Toilettenschüssel fest angebrachte Düse mit aufgenommen worden. Es hat sich aber herausgestellt, dass bei dieser Version ein zu hohes Risiko der Kontamination der Düse mit Fäkalien, Urin und Keimen besteht. Aus diesem Grund ist auch diese Variante ausgeschlossen worden .

Deshalb war es das erklärte Ziel des Projektes, die Bidet-Nozzle in die Toilettenschüssel zu integrieren und dabei eine komfortable, sichere und fehlerfreie Bedienung durch den Benutzer zu gewährleisten. Da die Punktezahlen der beweglichen Varianten nahezu gleich sind, hat man sich für eine hydraulische Düse entschieden. Die rein manuell bedienbare Nozzle wurde wegen zu erwartender Akzeptanzprobleme ausgesondert. Eine elektrisch angetriebene Variante erfordert zusätzlich den Einbau elektronischer Komponenten, welche die Kosten und Zuverlässigkeit des Produktes beeinflussen. Diese Option wurde als Rückfallposition eingestuft und sollte nur dann genauer untersucht werden, wenn sich herausstellt, dass eine rein hydraulische Variante nicht möglich ist.

07.Juli 2010		32
--------------	--	----

KONZEPTBEWERTUNG Gut=5 Punkte schlecht = 1 Punkt	Wichtung	BEWEGLICHE NOZZLE (ausfahrbar)						EXTERNE NOZZLE			
		hydraulisch		elektrisch		mechanisch (manuell)		Handbrause		Quick connect Nozzle (starres Rohr) Nachrüstlösung	
Kriterien		Punkte	Punkte x Wichtung	Punkte	Punkte x Wichtung	Punkte	Punkte x Wichtung	Punkte	Punkte x Wichtung	Punkte	Punkte x Wichtung
Gewicht	4	3	12	3	12	3	12	2	8	4	16
Platz	5	3	15	3	15	3	15	4	20	4	20
Gerätekosten (Verkauf)	5	2	10	2	10	2	10	4	20	4	20
Entwicklungsrisiko	5	2	10	2	10	3	15	5	25	4	20
Verschmutzungsanfälligkeit z.B. durch Verkalkung	4	1	4	3	12	3	12	5	20	4	16
Komplexität	4	2	8	2	8	2	8	4	16	4	16
Bedienfreundlichkeit	4	5	20	5	20	3	12	1	4	5	20
Beschädigungsresistenz	3	4	12	4	12	3	9	1	3	3	9
Missbrauchsmöglichkeit	5	5	25	5	25	5	25	1	5	3	15
Wasserverbrauch	3	4	12	4	12	4	12	4	12	4	12
Energieverbrauch	4	5	20	4	16	5	20	5	20	5	20
Reinigungswirkung	5	4	20	4	20	4	20	5	25	4	20
Desinfektionsmöglichkeit durch Reinigungspersonal	5	3	15	3	15	3	15	5	25	4	20
Drainierbarkeit	5	4	20	4	20	4	20	5	25	3	15
Nozzle LRI	5	1	5	1	5	1	5	5	25	5	25
Änderungsaufwand (bestehendes System)	3	1	3	1	3	1	3	4	12	4	12
SUMME		49	211	50	215	49	213	60	265	64	276
Verschmutzungsanfälligkeit (*)			gering		gering		gering		gering		hoch

Kriterienwichtung

Hoch =	5	Mittel =	4	Niedrig =	3
--------	---	----------	---	-----------	---

(*): Dieses Kriterium wurde als „No go“-Kriterium eingestuft und führte zur Eliminierung der als starres Rohr integrierten Nozzle.

Tab. 6.2-1: Bewertung der unterschiedlichen Bidet-Nozzles

07.Juli 2010		33
--------------	--	----

Flexible Anbindung ans Wasser-/Abwassersystem

Hinsichtlich der flexiblen Toilettenanbindung wurden im Verlauf des Projektes zwei Varianten weiter untersucht. Zum einen war dies der Einsatz einer flexiblen aber dennoch stabilen Schlauchverbindung, die die aktuellen Anforderungen des Abwassersystems erfüllt. Zum anderen wurde ein beweglicher Aufbau mit starren Rohren untersucht.

Da in der Luftfahrt bisher keine flexiblen Schläuche für den Anwendungszweck in Vakuumabwassersystemen verfügbar sind, wurden zunächst folgende Anforderungen festgelegt, auf deren Basis mögliche Lieferanten angesprochen wurden:

- Durchmesser: 2"
- Biegeradius: 4x Durchmesser
- Druckbereich: 0 bis -9,8 PSI (proof pressure -12,5 PSI)
- Temperaturbereich: -55°C bis +85°C
- Innenfläche: möglichst glatt und beständig gegen menschliche Fäkalien
- Außenfläche: Form und Aussehen egal

Ein weiteres Konzept für die flexible Anbindung der Toilette und somit der Lavatory stellt eine Verrohrung mit beweglichen Elementen dar. Eine mögliche Umsetzung ist in Abb. 5.2-2 zu sehen. Dabei sind die Rohrbögen über bewegliche Verbindungen mit den starren, geraden Rohrteilen verbunden. Gleichzeitig übernehmen die Verbindungsstücke auch noch die Abdichtung. Eine Analyse dieser Verbindungstechnik ist nachfolgend (AP 2.4) vorgenommen.

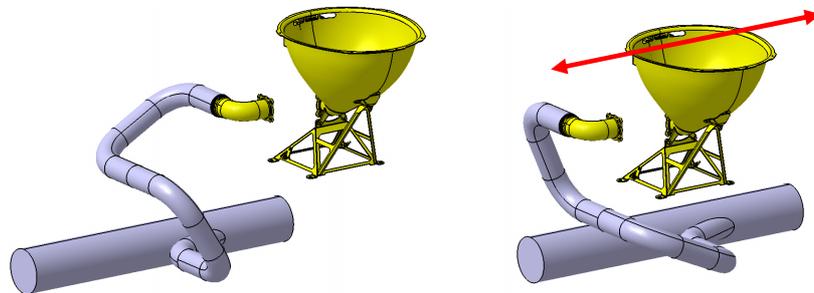


Abb. 5.2-2: Mögliche Umsetzung einer beweglichen Rohranbindung

Beschichtung

Das am Anfang verfolgte Konzept, Silber in die jeweiligen Beschichtungen zu integrieren, ist von allen Partnern abgelehnt und nicht empfohlen worden.

Silber wirkt bei korrekter Konzentration auf dem Träger antibakteriell. Dieser Anwendungsbereich wird zunehmend z.B. in der Medizintechnik für die dauerhafte Sterilisierung von Werkzeugen verwendet. Auch im Lebensmittel- oder im Sanitärbereich sind immer öfter auch Beschichtungen mit Silberionen zu finden.

Nachteil dieser Methode ist laut den Beschichtungspartnern allerdings noch die dauerhafte Wirkung solcher Beschichtungen, insbesondere über mehrere Jahre, wie dies im Luftfahrtbereich gefordert ist. Die aktuell angewendeten Verfahren zum Einbetten von

07.Juli 2010		34
--------------	--	----

Silbermolekülen verlieren laut Herstellerangaben innerhalb eines kurzen Zeitraumes ihre Wirkung (ca. 3 – 6 Monate) und tragen somit nicht dauerhaft zur Verbesserung des Produktes bei. Eine regelmäßige Wartung in so kurzen Abständen ist für die Airlines nicht akzeptabel. Aus diesem Grund hat sich AOA entschieden, neue konventionelle Beschichtungen zu prüfen.

5.2.3. AP2.3 – Detailspezifikation und Überprüfung des Konzepts

Bidet-Funktion

Das zuvor ausgewählte Konzept der hydraulisch ausfahrbaren Bidetdüse musste als nächstes in die Toilettenschüssel integriert werden. Im folgenden wird der umgesetzte Konstruktionsentwurf näher erläutert. In Abb. 6.2-3 ist die Schnittdarstellung der Bidet-Düse im aus- und eingefahrenen Zustand dargestellt.

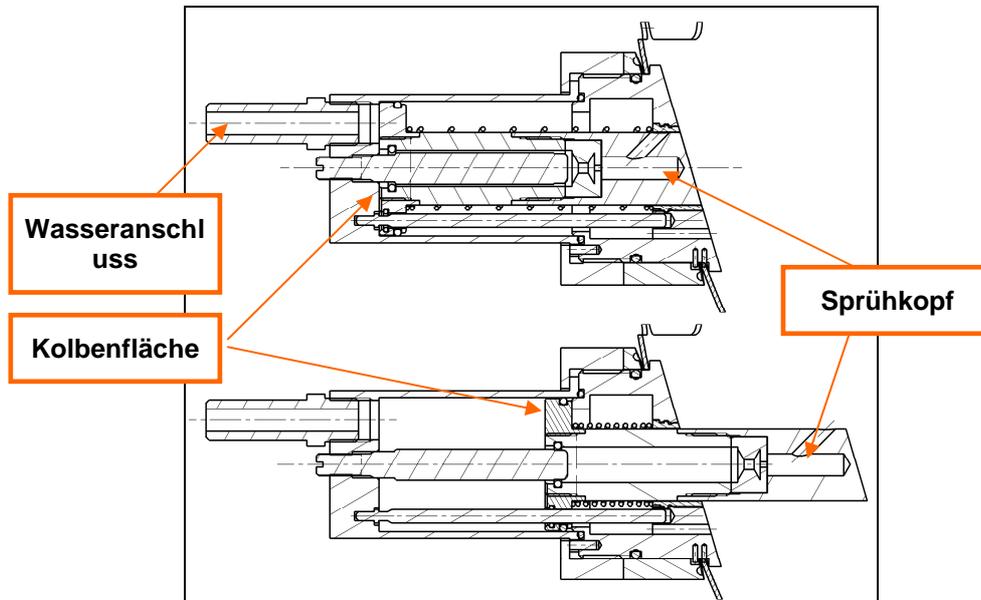


Abbildung 6.2-3: Schnitzeichnung der Bidetdüse

Über den Wasseranschluss wird die Bidetdüse mit dem Frischwassersystem des Flugzeuges verbunden. Der im System vorherrschende Wasserdruck wirkt bei Auslösung des Reinigungsmechanismus auf eine am Ende der Düse sitzende Kolbenfläche. Diese Kraft führt dazu, dass die Düse in die Toilettenschüssel ausgefahren wird. Wenn der maximal vorgesehene Ausfahrweg zurückgelegt ist, wird eine Bohrung frei, die das Wasser als Reinigungsstrahl am Sprühkopf austreten lässt.

Der Einbau der Bidetdüse ist gemäß dieses Entwurfs im hinteren Teil der Toilettenschüssel vorgesehen. Für die Befestigung der Düse am Toilettenbecken werden die in Abb. 6.2-4 dargestellten Komponenten miteinander verbunden.

07.Juli 2010		35
--------------	--	----

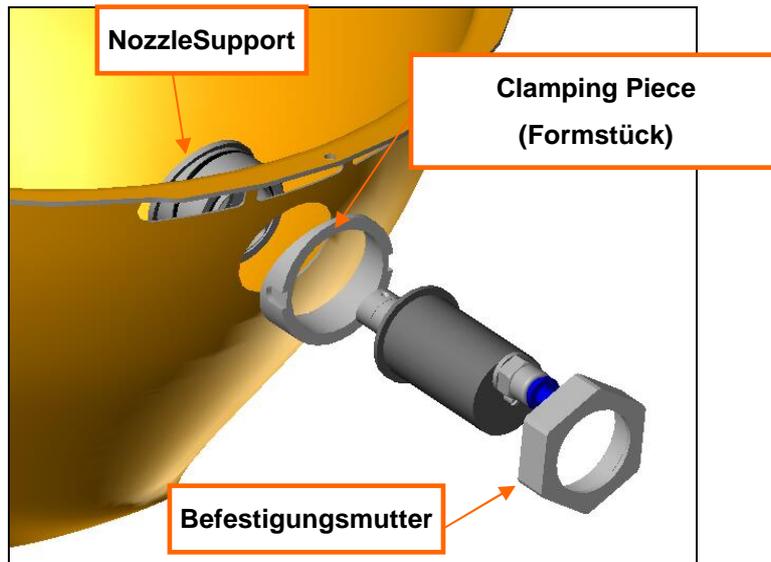


Abbildung 6.2-4: Vorgesehene Montage der Bidetdüse in der Toilettenschüssel

Der Nozzle Support soll von der Innenseite des Toilettenbeckens in die vorbereitete Bohrung geschoben werden. Dessen Anlagefläche ist an die Innenkontur der Schüssel angepasst und soll bündig mit der Oberfläche abschließen. Die endgültige Position und die montierte Variante sind in den Abb. 6.2-5 und 6.2-6 zu sehen.

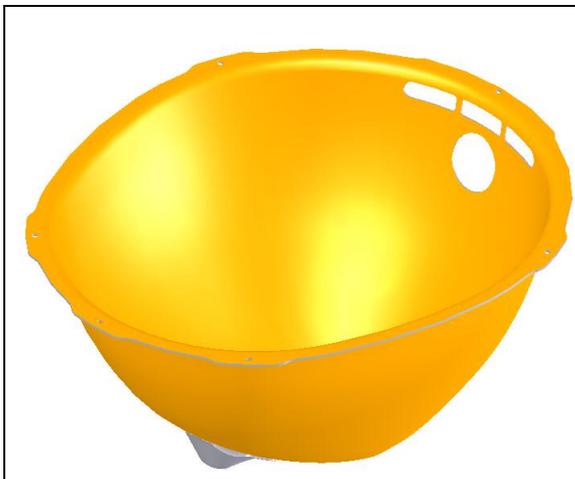


Abbildung 6.2-5: Darstellung der vorgesehenen Montagebohrung

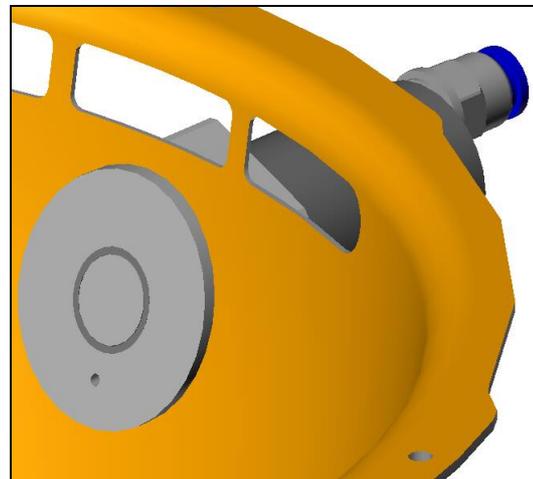


Abbildung 6.2-6: Bidet-Nozzle im fertig montierten Zustand

Flexible Anbindung ans Wasser-/Abwassersystem

Folgende gemäß der o.g. Anforderungen beschafften Schläuche wurden untersucht:



Unit 1: robuster, flexibler Saug- und Druckschlauch; beidseitig spiralfreie, glatte Muffenenden für leichtere Montage



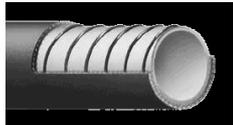
Unit 2: leichter, flexibler Be- und Entlüftungsschlauch mit integrierter PVC Spirale



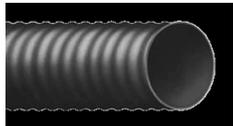
Unit 3: hochwertiger, sehr flexibler Saug- und Druckschlauch



Unit 4: robuster, äußerst flexibler Saug- und Druckschlauch in bewährter Qualität



Unit 5: Paragummi, braun, glatt; SBR/NR, schwarz, stoffgemustert; mit Stahldrahtspirale und Kupferlitze



Unit 6: SBR, schwarz, gewellt, stoffgemustert; mit Stahldrahtspirale und Kupferlitze



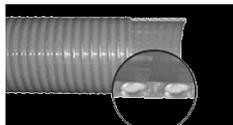
Unit 7: EPDM/NBR, blau, stoffgemustert; Textilgewebe



Unit 8: CR, schwarz, hochkant gewellt, stoffgemustert; mit Stahldrahtspirale



Unit 9: PVC/NBR-Mischung, grau, mit innenliegender PVC-Spirale, anthrazit



Unit 10: Kunststoff, orange, mit innenliegender rechteckiger PVC-Spirale, anthrazit

Da keiner dieser Schläuche bisher für den Luftfahrtbereich qualifiziert ist, wurde eine dahingehende Untersuchung notwendig. Der erst wesentliche Test für Kunststoffe ist der „Flammability“-Test. Er wurde gemäß der Airbus-Norm ABD0031 durchgeführt. In diesem Test wird ein Bunsenbrenner oder Gasbrenner auf das jeweils zu untersuchende Material gerichtet und die Nachbrenndauer der jeweiligen Materialien ermittelt. Nach Abschluss der Tests wurde zusätzlich noch die Tiefeneinwirkung der Flamme untersucht um festzustellen, inwieweit das Testmaterial angegriffen oder zerstört wird.

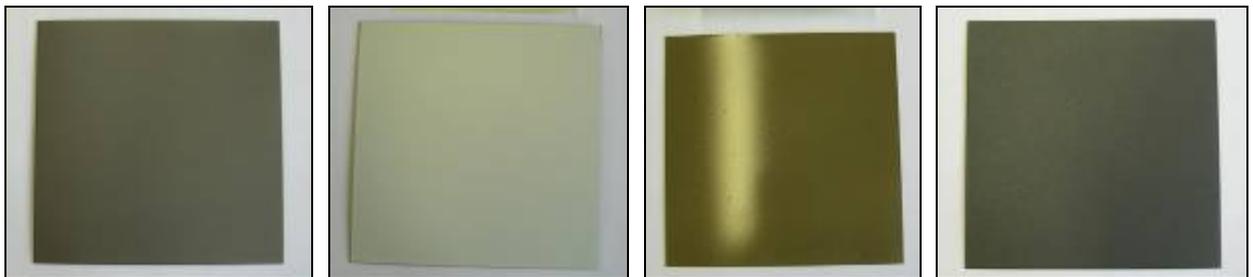
Ist dieses Kriterium erfüllt, so ist eine weitere Untersuchung der Proben sinnvoll. Wichtige weitere Anforderungen sind:

- Temperaturbereich
- mechanische Widerstandsfähigkeit
- chemische Beständigkeit (insbesondere gegen Fäkalien und Reinigungsmittel)
- Biegeradius

Die Testergebnisse sind in AP2.5 beschrieben.

Beschichtung

Zur Verbesserung der Funktionalität der „Toilet Bowl“ wurden von AOA mehrere Beschichtungsfirmen kontaktiert und Testproben angefordert. Die eingegangenen Proben (Abmessungen 100x100mm und 50x100mm) sind in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet, einige sind abgebildet:



	Impreglon		
Impreglon XP0219	PlasmaCoat 25301/XP0211	TTM Nano-3	TTM 44-68GR-M6

Lfd.Nr.	Firma	Bezeichnung
1	Impreglon	PlasmaCoat 25301/XP0211
2		TempCoat XP0219
3	Gutbrod	PTFE-System G-1
4		System DP
5	TTI GmbH (Uni Stuttgart)	System 1, Basis auf Oxidkeramik, Polyetherketon
6		System 2, Basis auf Oxidkeramik, Polyethersulfon
7		System 3/4, Basis auf Oxidkeramik, 2-K-System
8		System 5, Basis auf Oxidkeramik, PTFE
9	Traitements Thermiques	44-68GR1-MG
10		Nano-3
11	Rhenotherm GmbH	Muster 1, FEP
12		Muster 2, PFA
13		Muster 3, FEP

Tab. 5.2-2: Auflistung der vorliegenden Testbeschichtungen

5.2.4. AP2.4 / AP2.5 – Konstruktion / Test und Verifikation des Bidet-Toilettendemonstratos

Bidet

In diesem Arbeitspaket wurden Untersuchungen gemacht, die einen Prinzipnachweis der Luftfahrttauglichkeit der entwickelten Komponenten ermöglichen sollen. Abb. 6.2-7 zeigt den Prototypen der Düse mit allen Einzelteilen. Eine Schnittzeichnung dieser Variante ist in Abb. 6.2-3 zu sehen.

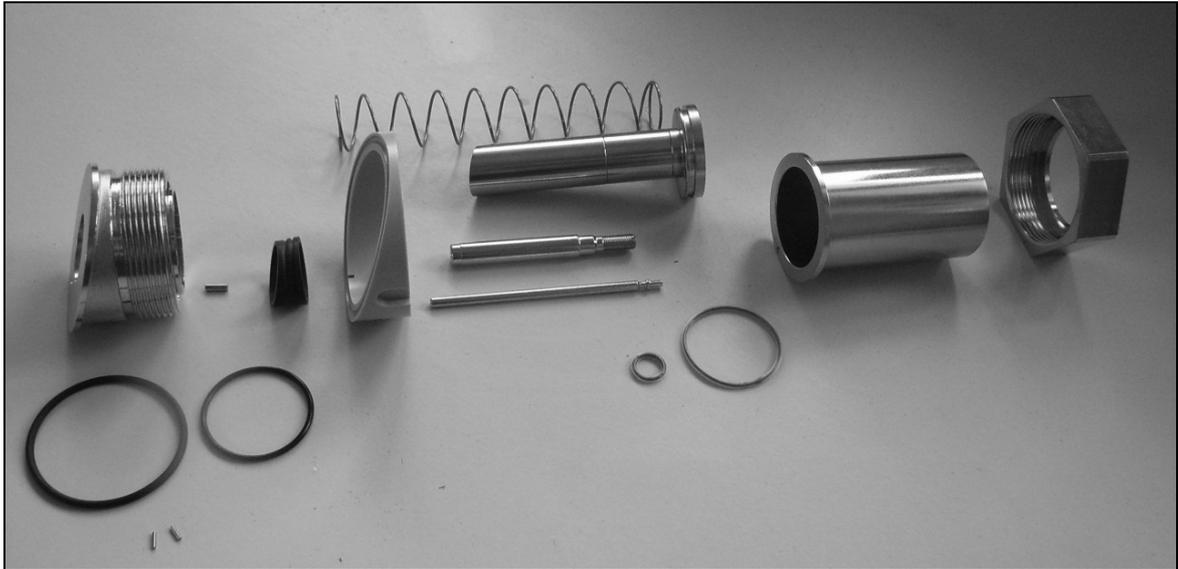


Abbildung 5.2-7: Einzelteile der Bidetdüse (Prototyp)

Die gesamte Düse ist bis auf den „Bowl Support“ aus Edelstahl gefertigt. Bei einer späteren Überführung in die Serie sollte über einen Ersatzwerkstoff nachgedacht werden um das bis jetzt sehr hohe Gewicht zu reduzieren. Voraussetzung dafür ist, dass ein neuer Werkstoff Kalkablagerungen verhindert und die Keimbildung nicht unterstützt. Montiert wird die Düse in die vorgesehene Bohrung der Toilettenschüssel, inkl. Mini-Boiler und Heizer für die Warmwasserversorgung.

Für die Verifikation des Prototypen ist ein Prüfstand mit Druckwasserstation notwendig, der unterschiedliche Druckszenarien ermöglicht. Dieser hat die Aufgabe verschiedene für den Flugbetrieb relevante Systemdrücke zu simulieren. Deshalb wird für diesen Zweck die Toilette direkt an eine Druckwasserstation angeschlossen, wie sie in Abbildung 5.2-9 zu sehen ist.

Abbildung 5.2-8 zeigt die erste Version des Teststandes mit einem ersten Versuchsmodell für verschiedene Düsenvarianten. Bevor mit der mechanischen Umsetzung und Konstruktion der Düse begonnen wurde, waren umfangreiche Voruntersuchungen verschiedener Varianten notwendig.

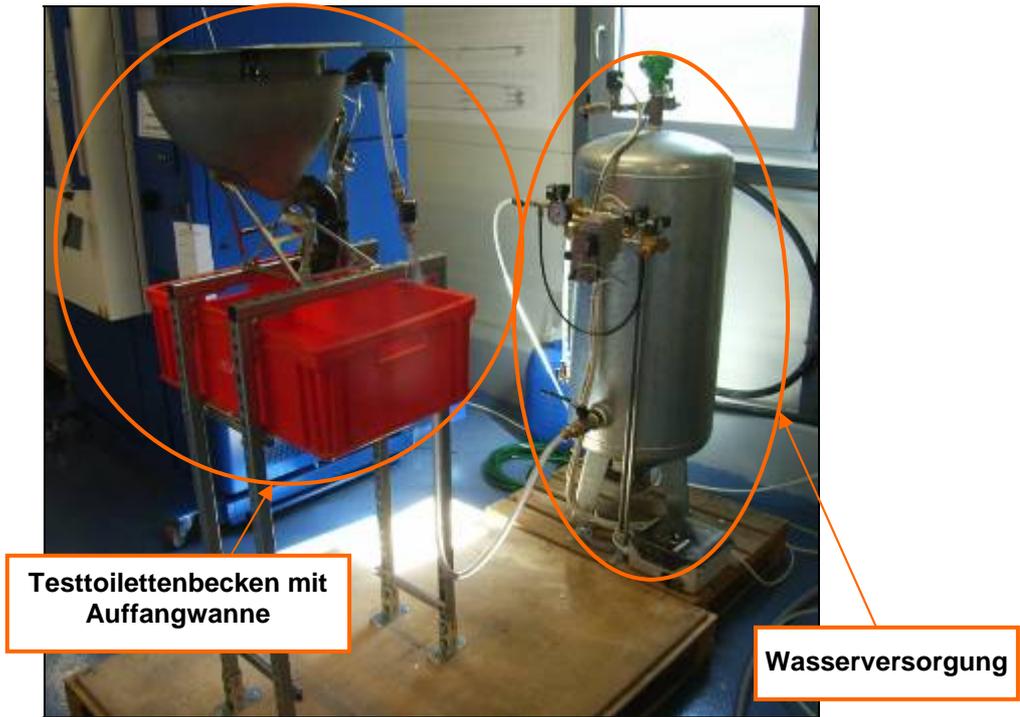


Abbildung 5.2-8: Teststand für Funktionsprüfungen



Abbildung 5.2-9: Druckwasserstation des Funktionsprüfstandes

Die ersten Vorüberlegungen richteten sich auf die eigentliche Strahlerzeugung. Die mögliche konstruktive Auslegung der Austrittsöffnung einer Bidetdüse musste erarbeitet werden. Zu klären war, wie sich Güte, Form und Menge der Austrittsöffnungen auf die Beschaffenheit des austretenden Wasserstrahles auswirken. Kanülen, die eigentlich für Silikonkartuschen Verwendung finden, sind für diesen Zweck sehr gut geeignet. Sie können sehr leicht bearbeitet werden und stehen in ausreichender Zahl zur Verfügung.

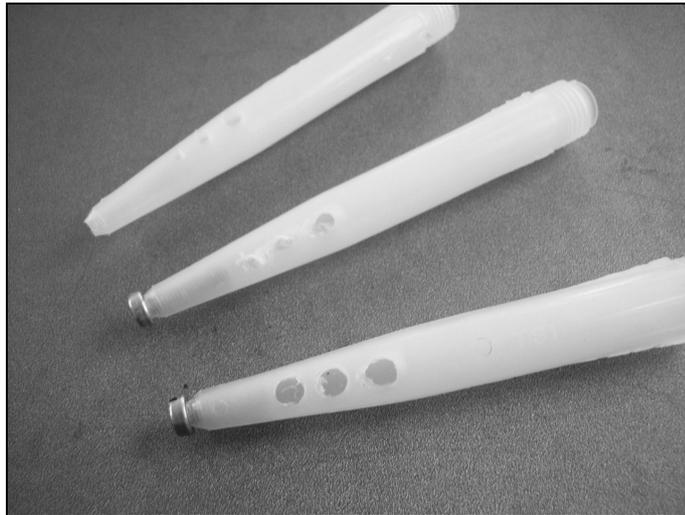


Abbildung 6.2-10 : Düsendummies aus Kunststoffkanülen

Diese wurden mit einer Vielzahl von Bohrungen versehen, die sich in Größe und Austrittswinkel unterscheiden (siehe Darstellung in Abb. 6.2-10). Hinzu kommt die Betrachtung einer flächigen Anordnung der Austrittsöffnung. Diese soll zeigen, ob sich das Sprühbild in positiver Weise verbessert und zu einem besseren Reinigungsverhalten führen kann.

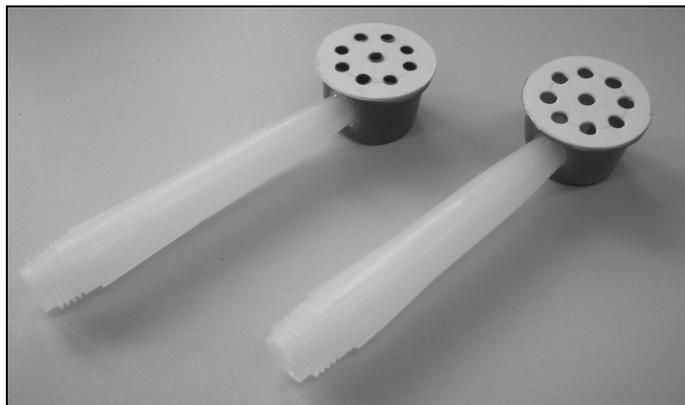


Abbildung 6.2-11: Düsen mit flach angeordneten Austrittsöffnungen

Zusätzlich ist im Montagestab ein Volumenstrombegrenzer untergebracht, mit dem der Einfluss auf das Sprühbild bei unterschiedlichen Drücken untersucht wird. Solch ein Volumenstrombegrenzer soll später in gleicher Ausführung in der Auslassdüse zum Einsatz kommen.

07.Juli 2010		42
--------------	--	----



Abbildung 6.2-12: Kunststoffkanüle mit Volumenstrombegrenzer

Durch den Volumenstrombegrenzer reduziert sich die Durchflussmenge erheblich. Andererseits vergrößert sich die Strömungsgeschwindigkeit hinter der Reduzierung sehr stark. Dadurch können die realen Strömungsverhältnisse am Düsenaustritt besser nachgestellt werden.

Die oben beschriebenen Voruntersuchungen haben gezeigt, dass sich die Güte der Austrittsöffnung und ihre Form nicht ausschlaggebend auf die Strahlqualität auswirken. Weder ein großer Grat, noch eine stark elliptische Form der Austrittsöffnung zeigen wesentliche Änderungen im Strahlbild. Weiterhin bilden mehrere kleinere Öffnungen einen ähnlichen Wasserstrahl wie eine einzelne Bohrung mit gleichem Gesamtquerschnitt. Dieser Punkt ist sehr bedeutsam. Denn mit der Größe des Austrittsquerschnitts kann die Strahlhöhe sehr gut beeinflusst werden. Dies kommt der Konstruktion der Düse sehr entgegen, da eine große Auslassöffnung im allgemein nicht so anfällig gegenüber Kalkablagerungen ist.

Eine wesentliche Beobachtung bei der Verwendung von Kunststoffkanülen war, dass zur Erzeugung eines runden Wasserstrahles ohne Turbulenzen ein Beruhigungsvolumen vor der Austrittsöffnung notwendig ist. Das einströmende Fluid aus dem Volumenstrombegrenzer muss auf ein gefülltes Reservoir treffen, damit es sich anstaut. Andernfalls trifft der Strahl mit hoher Geschwindigkeit auf den austretenden Wasserstrahl und es kommt zu einer starken Beeinflussung der Strahlqualität. Die getroffenen Wasserteile und die dabei frei werdende Luft führen dazu, dass der Wasserstrahl nicht kontinuierlich sondern pulsartig austritt.

Im weiteren Verlauf der Untersuchungen wurde das Sprühverhalten der Bidetdüse untersucht und angepasst. Es ist nicht tolerierbar, dass während des Betriebs Wasser über die Toilettenschüssel austritt. Aus diesem Grund muss eine Konfiguration gefunden werden, die sicherstellt, dass bei allen als normal einzustufenden Betriebsbedingungen ein akzeptables Sprühbild auftritt.

Mit Hilfe des bereits gezeigten Teststandes finden die Untersuchungen und Test am Prototypen der Bidetdüse statt. Voraussetzung ist, dass die Düse mit Wasserdrücken zwischen 0,8 bis 2,4bar einwandfrei funktioniert. Aus diesem Grund ist ein Druckbegrenzer (Abb. 6.2-13) notwendig um Fehlerfälle zu vermeiden, da andernfalls der Wasserstrahl über den Schüsselrand in die Toilettenkabine hinaus reicht.

07.Juli 2010		43
--------------	--	----

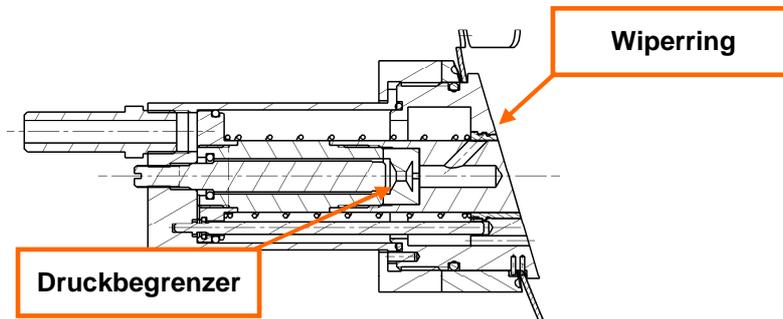
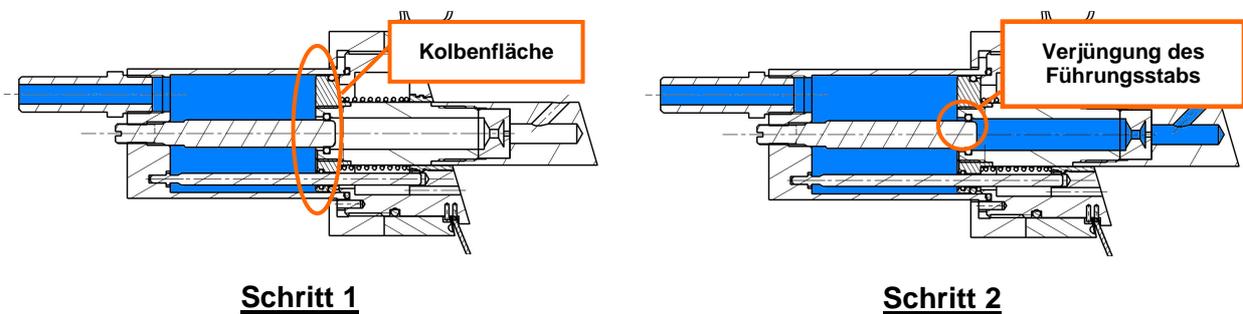


Abbildung 5.2-13: Schnittzeichnung der Bidetdüse

Das Wasser soll an der Düsen Spitze austreten wenn die Düseneinheit komplett ausgefahren ist. Zu diesem Zweck besitzt der im Gehäuse angebrachte zentrale Führungsstab (Guide genannt), eine Verjüngung an seiner Spitze. Der Wasserdruck wirkt als erstes auf die Kolbenfläche der Düse und schiebt diese aus dem Gehäuse heraus (Schritt 1,

Abbildung 5.2-14). Sobald der in der Düseneinheit eingefügte O-Ring die Spitze des Guide erreicht, strömt das Wasser über den Druckbegrenzer zum Düsenkopf und kann als Strahl austreten.



Düse ausfahren:

- Wasserdruck wirkt auf die Kolbenfläche und schiebt die Düse aus dem Gehäuse
- Der Führungsstab verjüngt sich an seiner Spitze und lässt Wasser in die Düse strömen → Schritt 2

Sprühsequenz

- Wasser strömt in die Düse über den Druckbegrenzer in die Spitze → Wasser tritt aus

Abbildung 5.2-14: Funktionszustände Bidetdüse

Im komplett ausgefahrenen Zustand kann so mechanisch der Beginn des Sprühvorgangs gesteuert werden. Im eingefahrenen Zustand soll über dieses System der Düsenkopf entleert werden. Die Drainage (Schritt 3, Abb. 6.2-15)) der Düse funktioniert über den zweiten, kleineren Führungsstab. Durch die eingebaute Feder wird die Düse bei Druckabfall in des Gehäuse zurückgedrückt. Wie beim Guide überfährt ein O-Ring im Kolben im eingefahrenen Zustand den abgesetzten Durchmesser auf der Führungsstange und öffnet damit die Verbindung zur Drainagebohrung. Über die eingefräste Nut auf der Druckseite des Kolbens kann auf diese Weise das Restwasser aus dem Düsenkopf und der Versorgungsleitung abfließen. Sämtliches Restwasser gelangt auf diesem Weg in das Toilettenbecken.

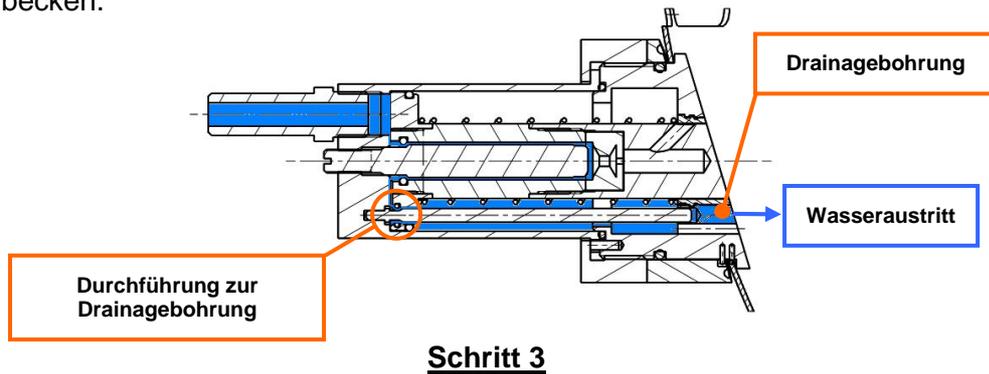


Abbildung 5.2-15: Wasserführung im Drainagefall

Dieses Funktionsschema ist mit dem aufgebauten Prototypen (Abb. 6.2-16) einer eingehenden Untersuchung unterzogen worden und hat verschieden Probleme aufgezeigt.



Abbildung 5.2-16: Integration der Düse in der Bowl

In den Versuchen hat sich gezeigt das das Dichtungskonzept der Drainagebohrung nur ungenügend ist. Beim Start des Spülvorganges tritt Wasser sofort aus der Drainagebohrung über den gesamten Zeitraum des Flushzyklus aus. Ursache hierfür ist die ungenügende Dichtfläche des O-Ringes die dem Wasserdruck nicht stand hält.

Hinzukommt das über den sogenannten Wiperring (siehe Abbildung 5.2-13) ebenfalls Wasser austritt, da dies über das Drainagesystem zum Wiperring vordringt. Das Sprühbild der Düse ist zufriedenstellend, wird aber bei einem Wasserdruck über 1,2 bar zu stark. Das heißt, der Druckbegrenzer ist noch nicht ausreichend, da das Wasser über den Bowlrand

07.Juli 2010		45
--------------	--	----

hinaus spritzt. Das Funktionsprinzip der hydraulischen Bidetdüse konnte trotzdem sehr gut nachgewiesen werden und wird daher weiter optimiert um eine stabile Funktion über den gesamten Druckbereich sicherzustellen.

Aus diesem Grund ist die Düse einigen Optimierungen unterzogen worden um das Dichtungskonzept und die Drainage zu überarbeiten. Abbildung 5.2-17 zeigt die neue Düse im Schnitt.

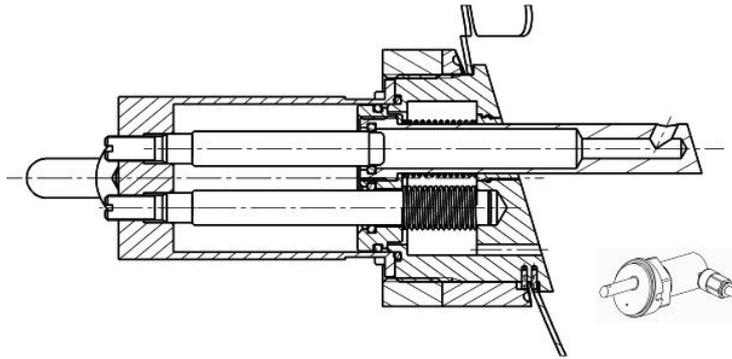


Abbildung 5.2-17: Überarbeitete Düsenvariante

Die beiden Führungsstifte sind in ihren Durchmessern gleich groß konstruiert, da sich das Dichtungskonzept für den „Guide“ bewährt hat. Deshalb wird ein Austritt des Spülwasser aus der Drainagebohrung am Anfang des Flushzyklus nicht mehr erwartet.

Zusätzlich zu diesen Voruntersuchungen für die Düse kommen folgenden Komponenten beim Aufbau des Bidets hinzu (siehe 6 und 6.2-8):

- Miniboiler
- Steuergerät für den Boiler
- Bidetdüse
- zusätzliches Wasserventil
- Verbindungsschläuche für Boiler, Ventil und Düse

Das aufgebaute Konzept beinhaltet einen kleinen Warmwasserspeicher mit integrierter Heizung (Miniboiler). Ziel ist es, das Wasser auf maximal 41° C zu erhitzen.

07.Juli 2010		46
--------------	--	----

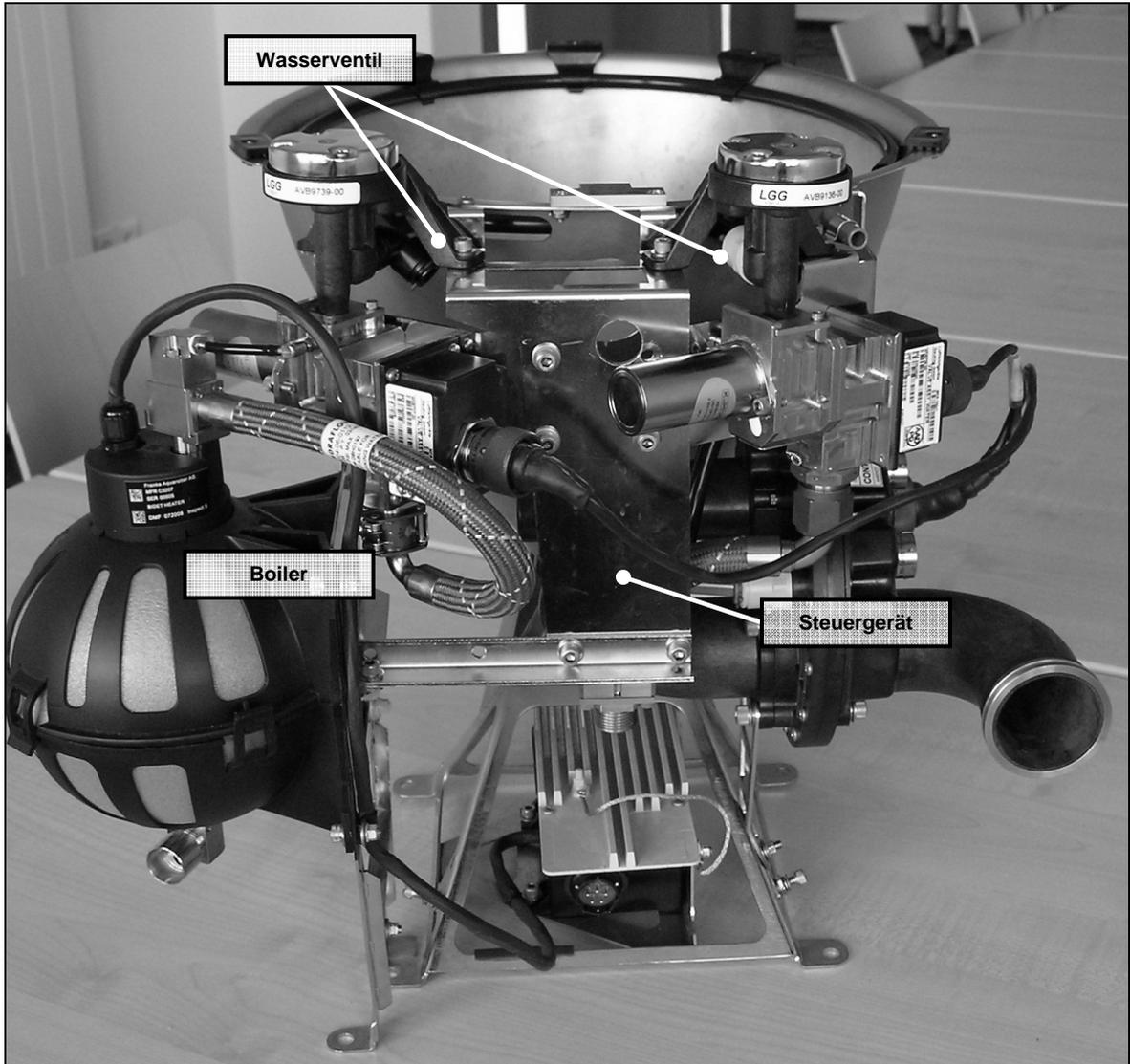


Abbildung 5.2-18: Aufbau Bidetprototyp

Flexible Anbindung ans Wasser-/Abwassersystem

Für die Entwicklung der modularen Toilette mit Bidetfunktion sind zwei Ansätze für eine flexible Schnittstelle zur übergeordneten Struktur des Flugzeugs betrachtet worden, die flexible Anbindung über ein bewegliches Rohrsystem und der Einsatz einer Schlauchvariante.

Abb. 5.2-2 zeigt die geplante Version der flexiblen Anbindung mittels einer Rohrverbindung. Bei diesem System sind 4 zusätzliche Krümmen notwendig die an 3 Verbindungspunkten drehbar gelagert sein müssen. Um die Verbindung sicher herzustellen, werden sogenannte Hydraflow-Schellen benutzt, die eine leichte und sichere Montage ermöglichen. Zusätzliches Augenmerk ist auf die Abdichtung der Kupplungen zu setzen da Undichtigkeiten unter keinen Umständen auftreten dürfen.



Abbildung 5.2-19: Veranschaulichung einer Hydraflowverbindung

Durch eine nähere Betrachtung des Konzepts hat sich herausgestellt, dass ein hoher Kosten-, Material- und Gewichtszuwachs entsteht, wenn die flexible Anbindung an das Hauptrohrsystem auf diese Weise erfolgt.

Neben dem Rohrmaterial sind zusätzlich noch folgende Bauelemente pro Kupplung (\varnothing 2-inch) notwendig:

- 1 Hydraflow-Schellen
- 2 Verbindungsmuffen + dazugehörige Dichtung
- 1 Rohrverbindung zum Abdichten

Dieser Material- und Kostenzuwachs fällt viermal an um die gesamte Rohrverbindung aufzubauen. Aus diesem Grund ist der Aufwand für eine flexible Verbindung mit Hilfe dieser Methode unverhältnismäßig hoch.

Ein weiterer Aspekt, der bei dieser Variante nicht außer acht gelassen werden darf, ist die Rohrgeometrie an sich. In zahlreichen Test hat AOA feststellen können, dass Krümmungen von 90° ungünstig für die Weiterleitung der Abfälle sind. Der Grund dafür ist der hohe Differenzdruck im Flugzeug und die dadurch entstehenden hohen Geschwindigkeiten des Transportmaterials. Beim Auftreffen der Fäkalien an der Wandung des Krümmers werden diese zerschlagen und immer weiter verkleinert, bis schließlich nur noch kleine Partikel im System transportiert werden. Dies ist ein wesentliches Problem bei Vakuumsystemen, da die Ablagerung- und Verstopfungsgefahr steigt. Leider ist auf Grund von Platzmangel in der

07.Juli 2010		48
--------------	--	----

Kabinensektion ein Einsatz von 90°-Krümmern oft die einzige Alternative, sollte aber wenn möglich verhindert werden.

Die beiden Tatsachen, Komplexität und Krümmerproblem, führten zu der Entscheidung diese Variante nicht weiter zu verfolgen.

Die zweite Möglichkeit ist in diesem Fall vielversprechender. Deshalb wurden eine Reihe von Tests durchgeführt, in denen geprüft wurde, ob die beschafften Schläuche den Anforderungen entsprechen. Für die weiter oben (AP2.3) aufgelisteten Schläuche ist in Anlehnung an die ABD0031 ein Flammability Test durchgeführt worden um die Brandeigenschaften der Schläuche zu bestimmen. Die beschriebene Testprozedur besagt, dass die Flamme auf das Testmaterial für 12s einwirken soll, anschließend wird sie entfernt und die Nachbrenndauer oder gegebenenfalls das Abtropfen von Material dokumentiert. Abbildung 5.2-20 und Abbildung 5.2-21 zeigen zwei Ausschnitte aus den dokumentierten Tests. Deutlich ist der Unterschied beim Einwirken der Flamme auf die Schnittkante der beiden Schläuche zu erkennen.

Dies erlaubte eine erste Bewertung über die Brennbarkeit der Materialien. Bei dem Test hat kein Schlauch eine Nachbrenndauer von mehr als 15s aufgewiesen, was laut ABD0031 nicht überschritten werden darf. Das heißt eine prinzipielle Nutzung scheint bei allen Varianten möglich zu sein, der Test führte zu keinem Ausschluss eines Schlauchtyps.



Abbildung 5.2-20: Flammability Test, Mantelfläche

Abbildung 5.2-21: Flammability Test, Schnittkante

07.Juli 2010		49
--------------	--	----

Als Fortsetzung der Untersuchungen wurde die Temperaturbeständigkeit überprüft um zu ermitteln, wie sich die Schläuche bei erschwerten Umgebungsbedingungen verhalten. Für diesen Zweck ist in der RTCA-DO160E der „Ground Survival HIGH/LOW Temperature Test“ vorgesehen. Jedes innerhalb der Flugzeugkabine installierte Gerät muss diesen Test absolvieren und ohne Schaden überstehen.

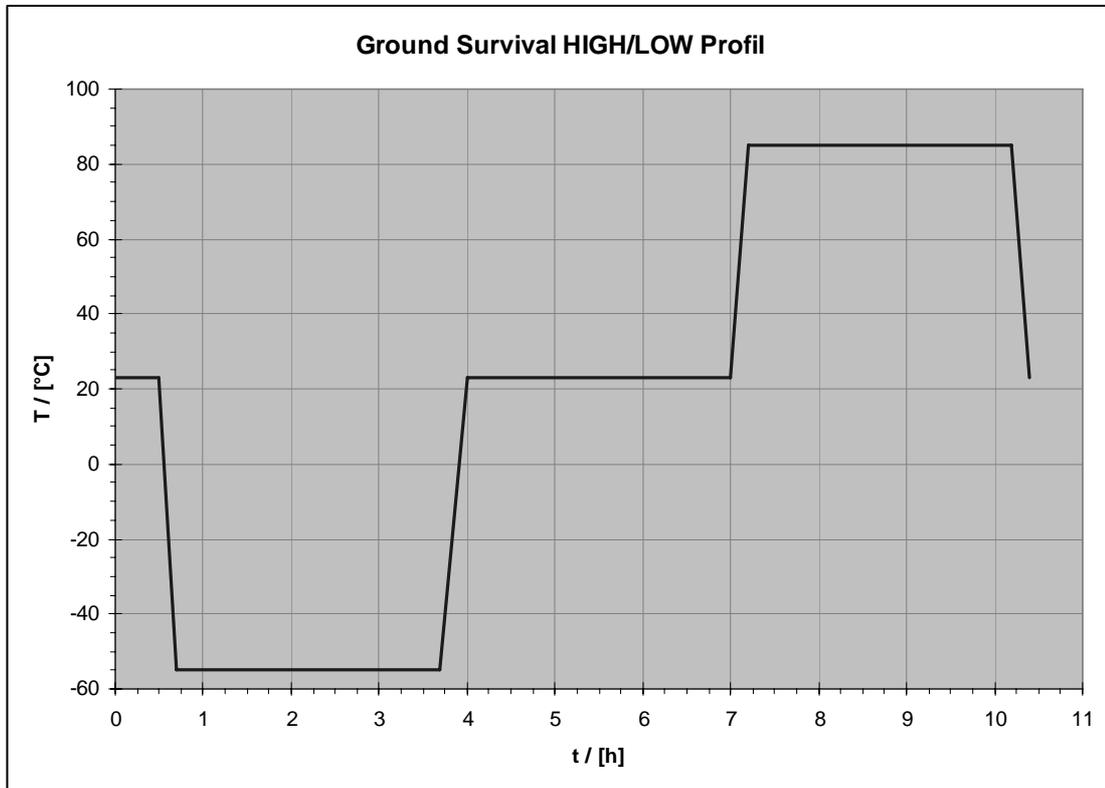


Abb. 5.2-22: Temperaturprofil des Ground Survival LOW/HIGH Temperature Test

Testprozedur (nach DO160E)

- Testschläuche in die Klimakammer legen
- Temperatur auf -55°C einstellen, für 3Std. beibehalten
- Testschläuche auf Umgebungstemperatur erwärmen (3Std. stabilisieren)
- Temperatur auf +85°C einstellen, für 3Std. beibehalten

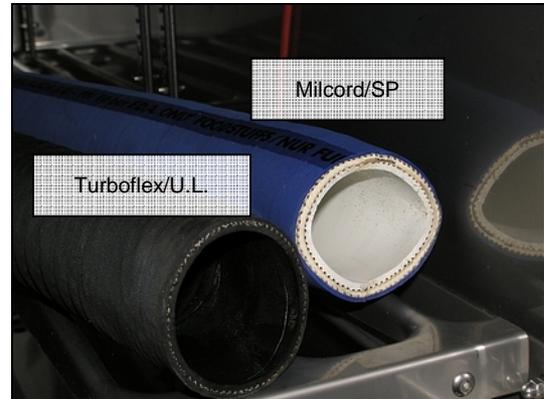
In der folgenden Tabelle sind die erreichten Ergebnisse aufgeführt und kommentiert.

07.Juli 2010		50
--------------	--	----

Ergebnisse

Turboflex/U.L. + Milcord/SP

- bei +85°C ist keine Änderung oder Beeinflussung zu erkennen
- bei -55°C werden die Schläuche sehr hart, Flexibilität ist nicht mehr gegeben



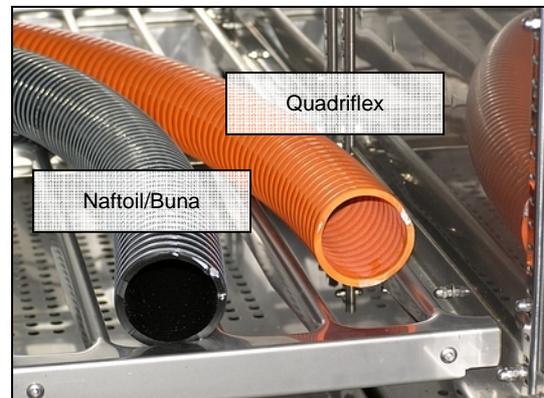
Turboflex

- bei +85°C ist keine Änderung oder Beeinflussung zu erkennen
- bei -55°C werden die Schläuche sehr hart, Flexibilität ist nicht mehr gegeben



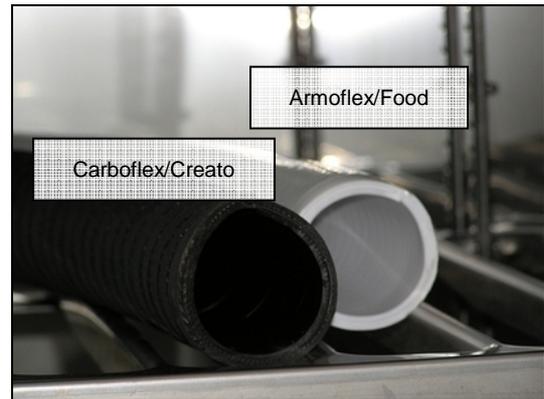
Naftoil/Buna + Quadriflex

- Bei +85°C werden beide Schläuche weich und lassen sich durch leichten Handdruck zusammendrücken. Druckstelle bildet sich nur sehr langsam und zäh zurück. → Unter Vakuum besteht die Gefahr das beide Schläuche kollabieren.
- bei -55°C werden die Schläuche sehr hart, Flexibilität ist nicht mehr gegeben, nach dem auftauen ist das Material wieder in seinen Normalzustand zurückgekehrt, keine Beschädigungen festzustellen



Carboflex/Crecto + Armoflex/Food

- bei +85°C ist keine Änderung am Carboflex/Crecto Schlauch festzustellen
- Armoflex/Food Schlauch zeigt Verfärbungen an den Auflagepunkten des Metallgitters (siehe roten Kreis im Foto)
- Nach Abkühlen behält Armoflex/Food Schlauch seine Form (z.B. wenn als S gelegt) → geht nicht in seine Ausgangsform zurück
- Stabilität bleibt bei beiden Schläuchen erhalten
- bei -55°C werden die Schläuche sehr hart, Flexibilität ist nicht mehr gegeben, nach dem auftauen ist das Material wieder in seinen Normalzustand zurückgekehrt, keine Beschädigungen festzustellen



Die Versuchsreihe wurde anschließend mit einem Endurance Test erweitert und eine Toilette der Firma AOA mittels Schlauch an das Hauptrohrsystem angeschlossen. Ziel war es zu prüfen ob die unterschiedlichen Schläuche den Anforderungen im Dauerbetrieb standhalten können und es nicht zu Beschädigungen oder Rissen kommt. In den folgenden Bildern ist der Testaufbau für diese Untersuchung zu sehen.

07.Juli 2010		52
--------------	--	----

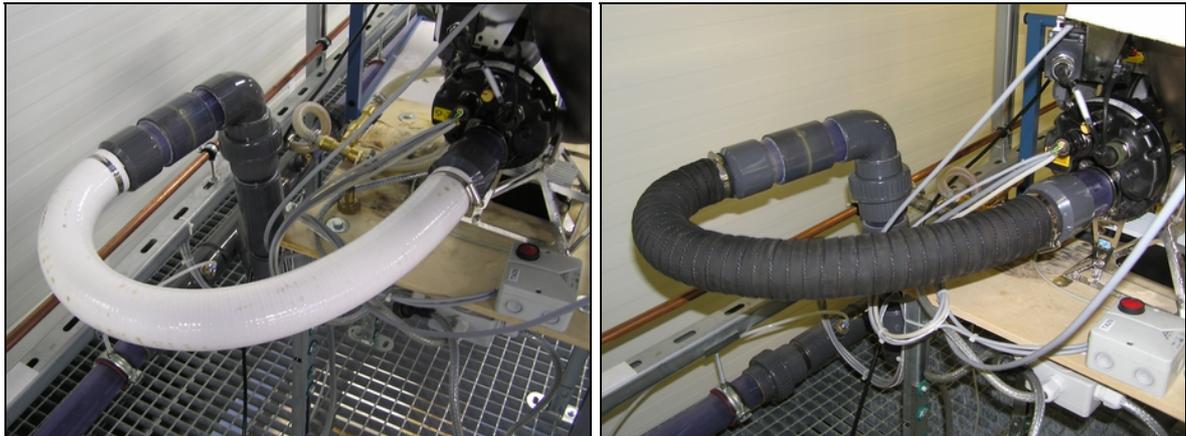


Abbildung 5.2-23: Integration des Endurance-Tests

Als Voraussetzung muss der Schlauch mindestens den Abstand zwischen zwei Flugzeugspanten überbrücken. Daraus ergibt sich die Länge des Schlauches von ca. 70 cm. Zusätzlich kommt hinzu dass der Biegeradius nicht kleiner als $4 \times \text{Durchmesser}$ sein soll.

Testbedingungen:

- $\Delta p = 570 \text{ mbar}$
- Flushzyklen ≈ 50000
- Flushmedium = Wasser (ohne Ersatzmasse für Fäkalien)

Ziel war es festzustellen ob sich allein durch die Dauer der Flushzyklen Beschädigungen zeigen. Denn durch die interne Drahtwendel, die in den meisten Schlauchtypen benutzt wird, ist ein hoher Kraftaufwand für die Montage notwendig. Daraus folgt eine vergrößerte Krafteinleitung in die Anschlussstücke am Spülventil (Flush Valve) der Toilette und am Hauptrohrsystem.

Über die Dauer des Endurance Tests waren bei keinen Schläuchen Ermüdungserscheinungen zu beobachten.

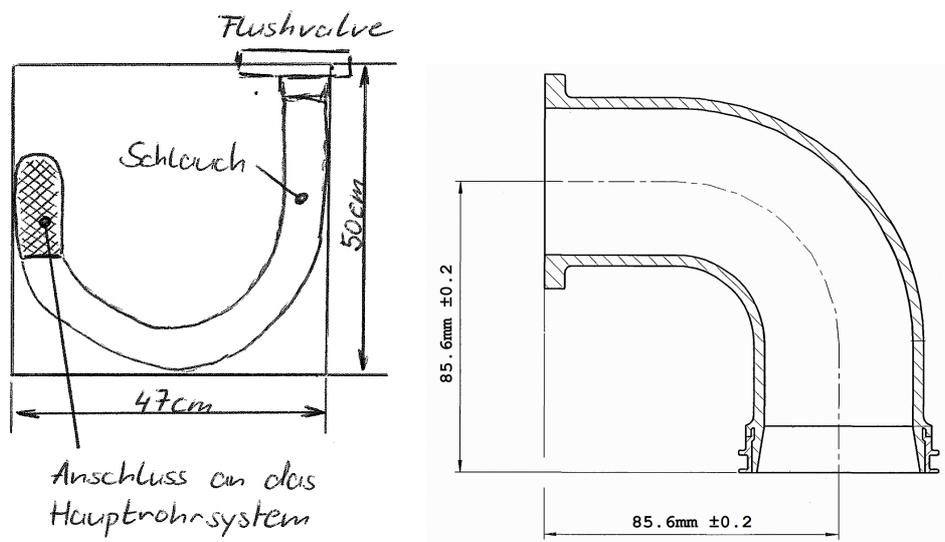


Abbildung 6.2-24: Platzbedarf bei flexibler/fester Anbindung

07.Juli 2010		53
--------------	--	----

Zu beobachten war allerdings, dass beim Öffnen des Spülventils der Schlauch in starke Vibration versetzt wird. In einem erneuten Endurancetest, der mit Ersatzmasse für Fäkalien durchzuführen ist, muss geprüft werden ob an den Anschlussstücken sowohl auf der Schlauch- sowie auf der Rohr- und Flushvalveseite nicht Ermüdungserscheinungen auftreten.

Weiterhin besitzt die Schlauchanbindung auf Grund der Länge der Verbindung einen hohen Raumbedarf. Deutlich wird dies in Abb. 6.2-24 (links), in der die Abmessungen angetragen sind. Im Vergleich zur aktuellen Anbindung über einen einfachen Rohrbogen (Abb.6.2-24, rechts) ist dies eine wesentlichen Zunahme an Volumen innerhalb der Toilette. Ob dies von den Kunden zu Verfügung gestellt werden kann, wird zu prüfen sein.

Zusätzlich kommt ein weiterer wesentlicher Gesichtspunkt hinzu, der innerhalb der Luftfahrtbranche einen wichtige Rolle einnimmt, die Gewichtszunahme. Da alle Schläuche entweder aus einem Gewebeverbund oder Kunststoff inkl. Metalldrahtwendel bestehen, ist das Gewicht bei 70cm Länge ca.9x größer als das des Rohrbogens:

- Rohrbogen \approx 170g
- Schlauch \approx 1500g

Auf Grund dieses hohen Massenzuwachses erscheint es fraglich, ob eine solche Änderung eingeführt wird..

Beschichtung

Um die Tauglichkeit als Toilettenbeschichtung zu bestimmen, wurden an den eingegangenen Proben verschiedene Untersuchungen vorgenommen:

- Gitterschnittprüfung nach EN ISO 2409
- Kratzbeständigkeitsprüfung mit Erichsen Universal Scratch Tester 413
- Pendelhärte der Beschichtung
- Randwinkelmessung, Beschichtung unbeschädigt, mit Wasser
- Randwinkelmessung, Beschichtung unbeschädigt, mit Parafin
- Randwinkelmessung in einer Reibspur, mit Wasser
- Randwinkelmessung in einer Reibspur, mit Parafin
- Oberflächenspannung (unbeschädigt)
- Reibradverschleißprüfung nach DIN 52347
- Kugelschlagprüfung – Ausbeulen
- Kugelschlagprüfung – Einbeulen

Unter den gewählten Proben, die im Labor bewertet werden, wurden anschließend die besten Ergebnisse ausgewählt und in mehreren Test Bowls aufgetragen. Anschließend sollte jede Schüssel in einem Dauertest möglichst unter Realbedingungen getestet werden.

Zusätzlich zu den aktuell untersuchten Beschichtungen sind die Ergebnisse aus vorangegangenen LuFo-Projekten mit aufgenommen. Für alle Test sind dieselben Prozeduren verwendet worden, um eine möglichst genaue Vergleichbarkeit zu allen Beschichtungen zu gewährleisten.

07.Juli 2010		54
--------------	--	----

Als Referenz ist die Beschichtung „Excalibur“ anzusehen, da diese aktuell auf den Toilettenschüsseln von AOA aufgebracht wird. Das heißt, alle Werte die größer als die der „Excalibur“ sind stellen eine Verbesserung der entsprechenden Eigenschaft dar.

Für die bessere Auswertung der Ergebnisse wurde im Rahmen des Projektes ein Bewertungsmaßstab eingeführt, der es erlaubt die Resultate in einem Diagramm darzustellen. Diese Normierung vereinfacht einerseits die Darstellung und andererseits die Bestimmung eventueller verbesserter Eigenschaften. In Tab. 5.2-3 ist der verwendete Bewertungsmaßstab dargestellt.

Punkte	Randwinkel	Oberflächen- spannung	Abrieb	Kratz- beständigkeit	Kugel- energie	Pendel- härte
	[°]	[mN/m]	[mg]	[N]	[J]	
10	136°-150°	0	bis 10	1	bis 20	150
9	121°-135°	1-10	bis 20	0,9	bis 18	135
8	120°-106°	11-20	bis 30	0,8	bis 16	120
7	91°-105°	21-30	bis 40	0,7	bis 14	105
6	76°-90°	31-39	bis 50	0,6	bis 12	90
5	61°-75°	40-44	bis 60	0,5	bis 10	75
4	46°-60°	45-49	bis 70	0,4	bis 8	60
3	31°-45°	50-54	bis 80	0,3	bis 6	45
2	16°-30°	55-60	bis 90	0,2	bis 4	30
1	0°-15°	61-66	bis 100	0,1	bis 2	15
0		größer 66	Durchrieb			

Tab. 5.2-3: Bewertungsmaßstab für die ermittelten Ergebnisse

Auf Basis dieses Bewertungsmaßstabes wurden die Ergebnisse ermittelt und anschließend einer weiteren Gewichtung unterzogen, um den späteren Einsatz im Wasser-/ Abwassersystem zu berücksichtigen. Die Ergebnisse, die sich dadurch für jede neue Beschichtung ergeben, sind in Abb. 6.2-25 dargestellt.

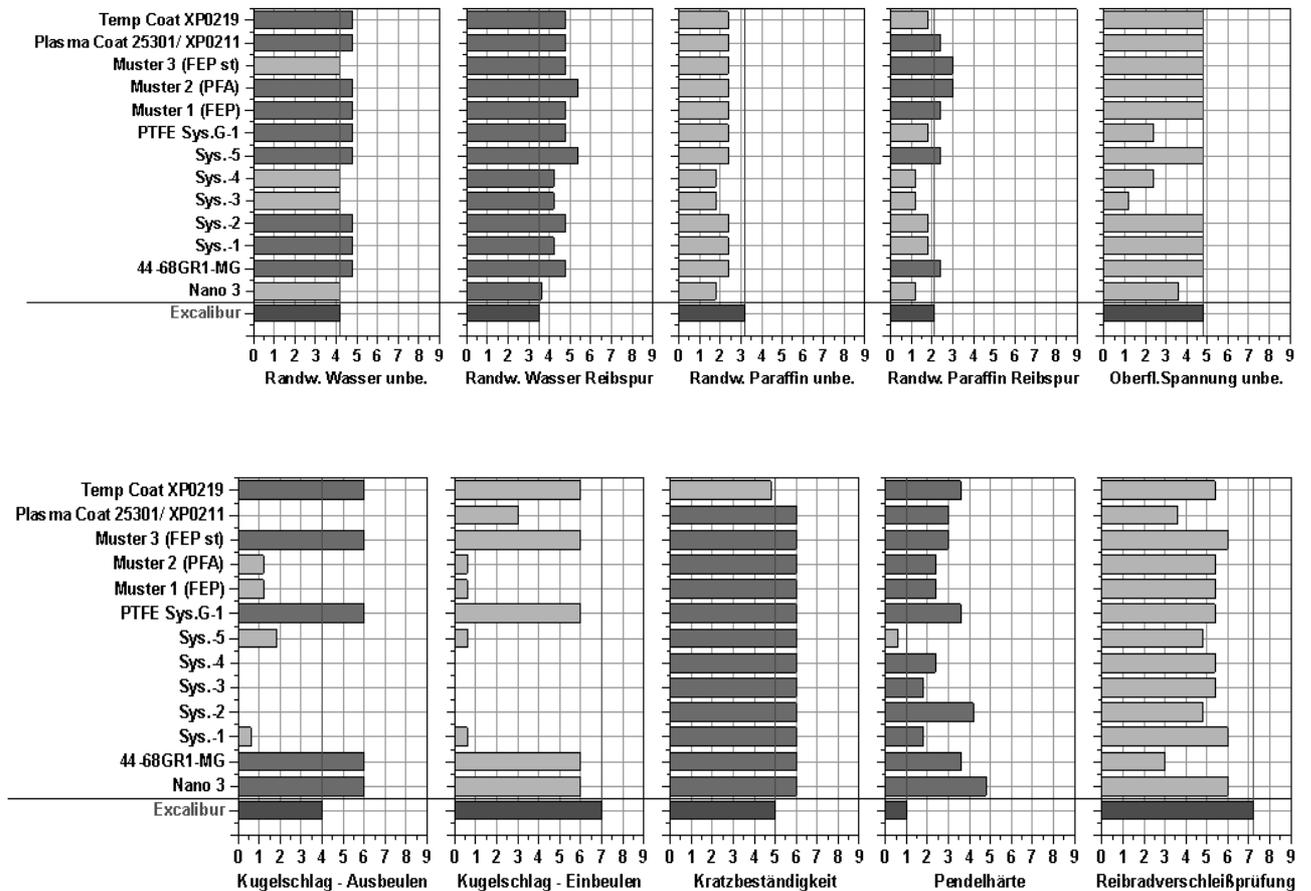


Abb. 5.2-25: Übersicht der einzelnen Beschichtungstests

Durch die Vielzahl der unterschiedlichen Tests ist ein Vergleich und eine Bewertung schwierig. Zusätzlich ist eine Auswertung mit bisher getesteten Beschichtungen notwendig. Deshalb werden alle Ergebnisse in einem Gesamtwert zusammengefasst. Die dadurch erzielte Übersicht ist in **Abb. 5.2-26** dargestellt.

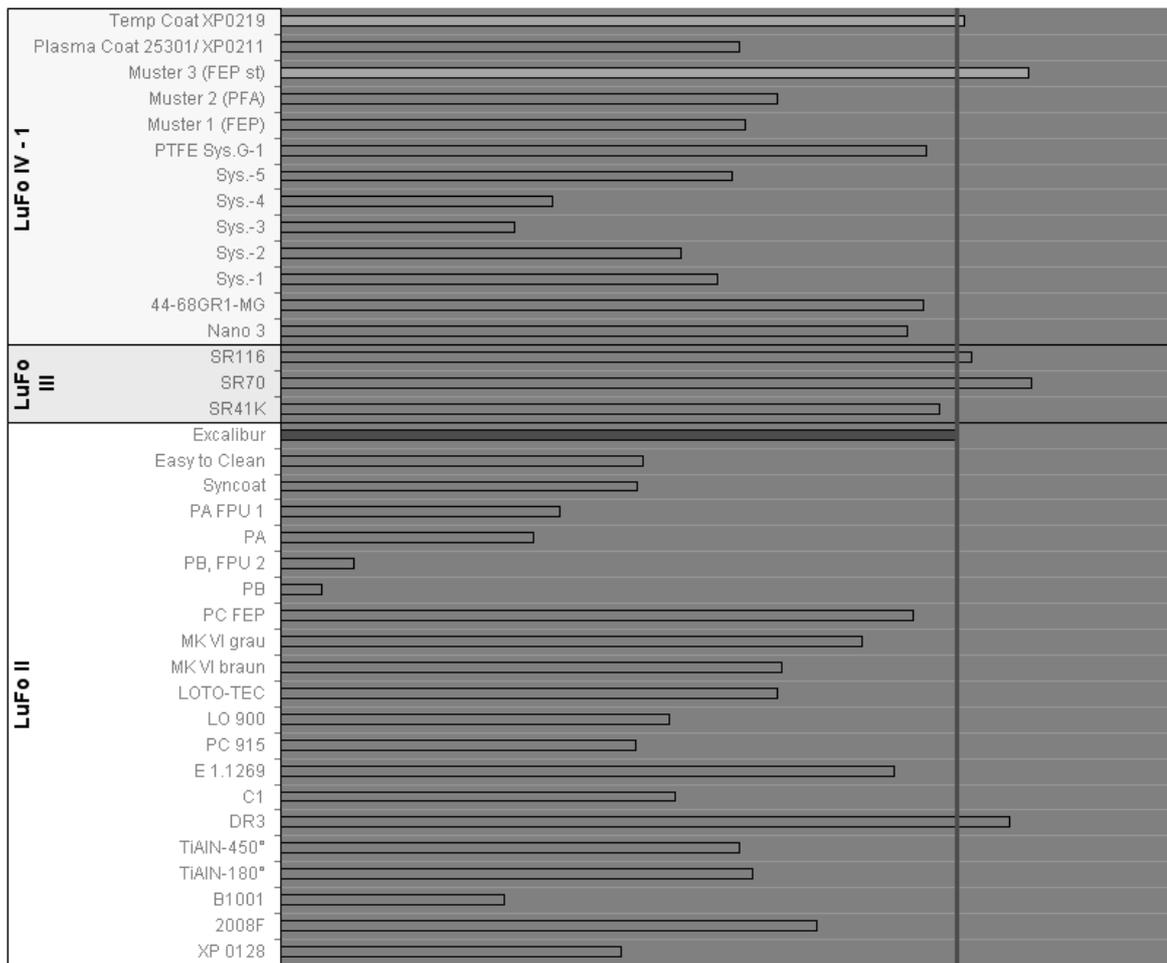


Abb. 5.2-26: Zusammenfassung der Beschichtungsergebnisse

In dieser Zusammenfassung ist sehr deutlich zu erkennen, dass nur zwei Typen die Eigenschaften der aktuellen (rot dargestellten) „Excalibur“-Beschichtung übertreffen. Zum einen ist dies das Produkt der Firma Impreglon „TempCoat XP0219“ und die Beschichtung der Firma Rhenotherm „Muster 3 (FEP st)“ (beide grün dargestellt).

Die Verbesserung der Eigenschaften des Typs „TempCoat XP0219“ resultiert nur aus dem Ergebnis im Test „Randwinkelmessung bei unbeschädigter Beschichtung mit Wasser“ und fällt relativ gering aus. Da sich beide Beschichtungen im Fertigungsaufwand und notwendigen Kosten nicht unterscheiden, rechtfertigt dieses Kriterium aus Sicht von AOA nicht den Aufwand einer Umstellung auf diese Beschichtung.

Bei Typ „Muster (FEP st)“ ist eine Verbesserung der Eigenschaften gravierender ausgeprägt. Allerdings betrifft dies in diesem Fall den Test „Randwinkelmessung in einer Reibspur“ (sowohl für Wasser als auch für Parafin). Dies würde aber eine Beschädigung der Oberfläche darstellen und in der Praxis zum Austausch der Toilettenschüssel führen.

Eine wesentliche Verbesserung der neuen Beschichtungen gegenüber der aktuell im Unternehmen eingesetzten Variante „Excalibur“ hat sich somit nicht ergeben. Aus diesem Grund ist derzeit keine Änderung des Beschichtungstyps geplant.

Fazit

Im AP 2 wurden drei Massnahmen untersucht hin zu einer flexibel integrierbaren und funktional erweiterten Vakuumtoilette.

Mit der Integration einer Bidetfunktion in der Toilette wird dem gesteigerten Hygieneanspruch der Flugpassagiere Rechnung getragen, sie wird deshalb mehr und mehr durch die Airlines angefragt.

Es konnte nachgewiesen werden, dass das in diesem Projekt verfolgte hydraulische Konzept die Funktionsanforderungen erfüllt und sehr gut in die Toilettenbowl integriert werden kann. Wesentliche Erkenntnisse sind im Bereich des Dichtungskonzeptes, sowie in der Positionierung eines Druckbegrenzers erreicht worden. Dieser ist zwingend notwendig, da der Wasserdruck im Flugzeug zwischen 0,8 und 2,4 bar schwankt. Die Untersuchungen des Sprühverhaltens bei verschiedenen Systemdrücken (Wassersystem) und die erreichten Ergebnisse sind mittlerweile in einen zweiten Prototypen eingeflossen, der im Anschluß an dieses Projekt weiter untersucht werden soll.

Der zweite Themenkreis setzte sich mit der flexiblen Anbindung der Toilette an das Wasser-/ Abwassersystem auseinander. Es konnte gezeigt werden, dass eine Anbindung mittels Schlauchverbindung prinzipiell möglich ist. Eine starre Variante über bewegliche Rohre musste auf Grund seiner Komplexität und Kostenintensivierung aber verworfen werden.

Die Benutzung, bzw. der Test verschiedener Schläuche zeigte eine Alternative auf, um in Zukunft eine Lavatory innerhalb des Flugzeugs verschieben zu können. Allerdings ist im Bedarfsfall in weiteren Tests die Widerstandsfähigkeit gegen verschiedene Materialien zu testen wie z.B. Batterien, Chemikalien, kleinere Steine bis hin zu Glasscherben. Wenn diese Kriterien erfüllt werden und der Kunde die ermittelte Gewichtserhöhung und den gesteigerten Raumbedarf akzeptieren kann, ist der Einsatz einer Schlauchvariante als Systemanbindung machbar.

Als dritter Arbeitspunkt wurden neu auf dem Markt angebotene Beschichtungen der Toilettenschüssel analysiert worden. Die Ergebnisse zeigen, dass sich in den 4 Jahren seit der letzten Untersuchung mehrerer Beschichtungen durch AOA keine gravierenden Veränderungen ergeben haben. Dies betrifft im wesentlichen die Langzeiteigenschaften von Beschichtungen. Neue Systeme, die Nanopartikel oder Silberionen beinhalten, können im Luftfahrtbereich leider bisher keine Anwendung finden da sich die antibakteriellen Eigenschaften über einen sehr kurzen Zeitraum von einigen Monaten abbauen.

AOA wird den Markt in diesem Bereich weiter beobachten und interessante Innovationen gegebenenfalls erneut testen.

07.Juli 2010		58
--------------	--	----

5.3. AP 3 Modulare Sensor-Plattform für die Branderkennung

5.3.1. Ziel des Arbeitspakets, Anforderungen

Stand der Technik bei heutigen Rauchmeldern ist die Messung der Konzentration an Brand-Aerosolen nach dem Streulicht-Prinzip. Dieses Prinzip hat den Vorteil, sehr gut auf Brandgase anzusprechen, hat aber auch den Nachteil, dass ggf. Staub in höheren Konzentrationen zum Auslösen eines Fehlalarms führen kann.

Im AP 3 sollte untersucht werden, wie mittels einer Mehrfach-Sensorik (Streulicht unter verschiedenen Winkeln und bei unterschiedlichen Wellenlängen, Umgebungstemperatur, sowie weitere Sensorik nach Bedarf) ohne Einschränkung der sicheren Branddetektion bekannte Störszenarien ausgeblendet werden können.

Die generelle Anforderung an die Sensor-Plattform besteht darin, ein breites Spektrum an Bränden, v.a. Entstehungsbrände, zu erkennen, und zugleich ein Höchstmaß an Unempfindlichkeit gegenüber Störgrößen, wie z.B. Staub aufzuweisen. Als Maß für die Detektion von Bränden kann die EN54-7 (Anforderungen für punktförmigen Rauchmelder) herangezogen werden. Die Unempfindlichkeit gegenüber Störgrößen kann im Vergleich zu konventionellen Rauchmeldern untersucht werden, hier soll eine Auslösung frühestens bei der zweifachen Konzentration an Stör-Aerosolen erfolgen.

5.3.2. Konzepte zur modularen Sensor-Plattform

Im Rahmen der Konzeptfestlegung wurden Untersuchungen zum Thema Rauchmelder mit Doppeloptik zur Erkennung von Bränden und weitgehender Unterdrückung von Fehlalarmen durchgeführt. Unterstützt wurden diese Analysen durch den Fachbereich Nachrichtentechnische Systeme der Universität Duisburg-Essen, die hierfür unterbeauftragt wurde.

Im ersten Schritt wurde eine Literatur- und Patentrecherche zum Themenbereich optische Rauchererkennung im Hinblick auf folgende Fragestellungen durchgeführt:

- Beschaffenheit der Aerosole bei verschiedenen Brandsituationen, d.h. bei offenen Bränden und bei Schwelbränden
- Streuverhalten dieser Aerosole bei Beleuchtung mit verschiedenen Geometrien (also verschiedenen Streuwinkeln), Polarisationsrichtungen und Wellenlängen

Die Recherche lieferte folgende Ergebnisse:

- Die Größenverteilung von Rauchpartikel kann als logarithmisch normalverteilt angenommen werden.
- Bei den Störaerosolen kann die Größenverteilung von Staubpartikeln ebenfalls als logarithmisch normalverteilt angenommen werden, während für die Größenverteilung von Wassertropfen in Wolken oder Nebel i.a. eine modifizierte Gammaverteilung vorliegt. Der mittlere Durchmesser von Wassertropfen und Staubpartikeln ist mit $> 0.001\text{mm}$ größer als der von Rauchpartikeln ($< 0.001\text{mm}$).
- Der Vergleich der Intensität von vorwärts und rückwärts gestreutem Licht ermöglicht die Unterscheidung zwischen Rauch von offenen und flammenlosen Bränden. Er ermöglicht jedoch nicht die zuverlässige Unterscheidung zwischen Rauch von flammenlosen Bränden und Störaerosolen, die durch Pyrolyse entstanden sind.

07.Juli 2010		59
--------------	--	----

- Licht im sichtbaren Bereich liefert bei offenen Bränden bessere Streusignale als Licht im nahen Infrarotbereich.
- Der Vergleich der Streuintensität bei verschiedenen Wellenlängen des einfallenden Lichts ermöglicht eine Unterscheidung zwischen Rauch und Nicht-Brandaerosolen
- Die Berücksichtigung der Polarisisation des gestreuten Lichts bietet eine weitere Möglichkeit, Staub von Brandaerosolen zu unterscheiden.
- Vor allem Störaerosole, die durch Pyrolysevorgänge entstehen, stellen nach wie vor ein Problem für die Rauchererkennung mit Hilfe des Streulichtverfahrens dar.

Neben der Ermittlung dieser qualitativen Aussagen wurden die Literaturquellen bezüglich möglicher Anordnungen ausgewertet, die gegenüber üblichen Rauchmeldern mit nur einer Sendediode eine verbesserte Unterscheidung von Brandrauch und Störaerosolen (wie z.B. Nebel, Staub und Öldämpfe) erlauben.

Bei Rauchmeldern mit Doppeloptik ist die Bestimmung des Rauchsorte (hell, dunkel) die übliche Methode, um offene Brände von Pyrolyse- und Schwelbrände zu unterscheiden. Damit ist es möglich, die Empfindlichkeit des Melders an die Rauchart anzupassen und so einen Vorteil gegenüber üblichen Meldern mit nur einer Sendediode zu erzielen. In Geräten, die auf ein solches Konzept aufbauen, können die Sendedioden in Winkeln kleiner und größer als 90° angeordnet werden. Sie werten somit das Verhältnis zwischen vorwärts und rückwärts gestreuter Strahlung aus.

Neben der geometrischen Anordnung der Dioden ist die Wellenlänge ein weiteres Kriterium zur Unterscheidung von Partikeln. In Abbildung 5.3-1 ist das berechnete Verhältnis der Intensität von blauem Streulicht zu IR-Streulicht über den Streuwinkel Θ für verschiedene Aerosole dargestellt.

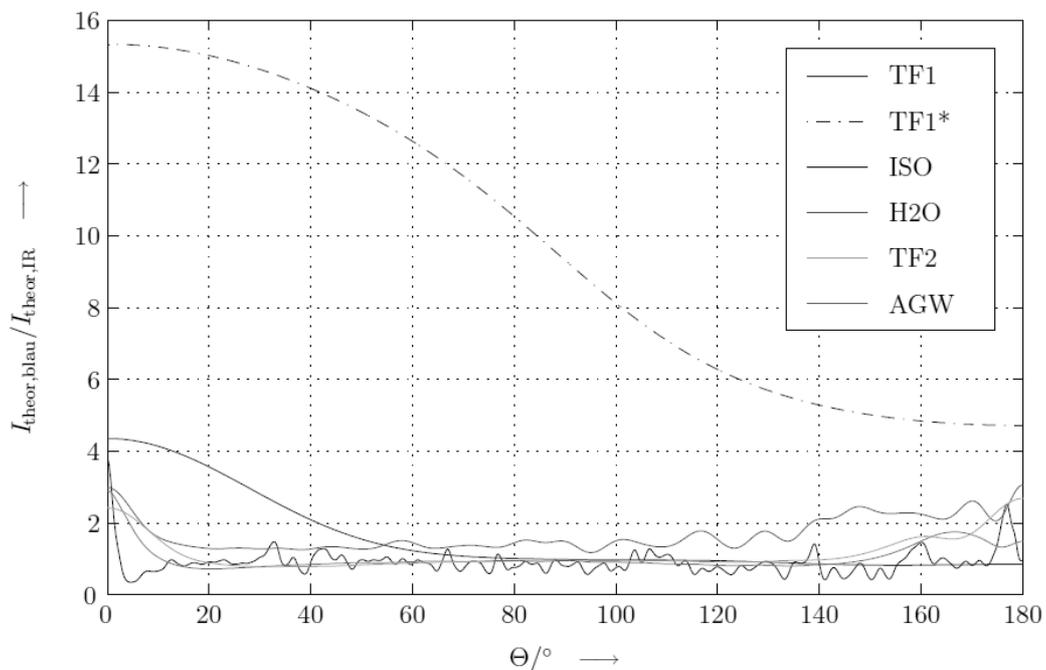


Abbildung 5.3-1: Verhältnis der Intensität von blauem zu IR Streulicht

Auf Basis dieser Analysen wurden erste Hinweise auf besonders günstige Wellenlängen und Winkel gewonnen. Somit wurden anschließend die Streuintensitäten von Licht einer blauen und einer IR-Diode bei dem gemessen. Als erstes Labormuster wurde ein Detektor mit dem in Abb. 6.3-2 dargestellten Sensorkopf mit einer blauen und einer IR- Sendediode und den Winkeln 120° (Vorwärtsstreuung) und 60° (Rückwärtsstreuung) aufgebaut.

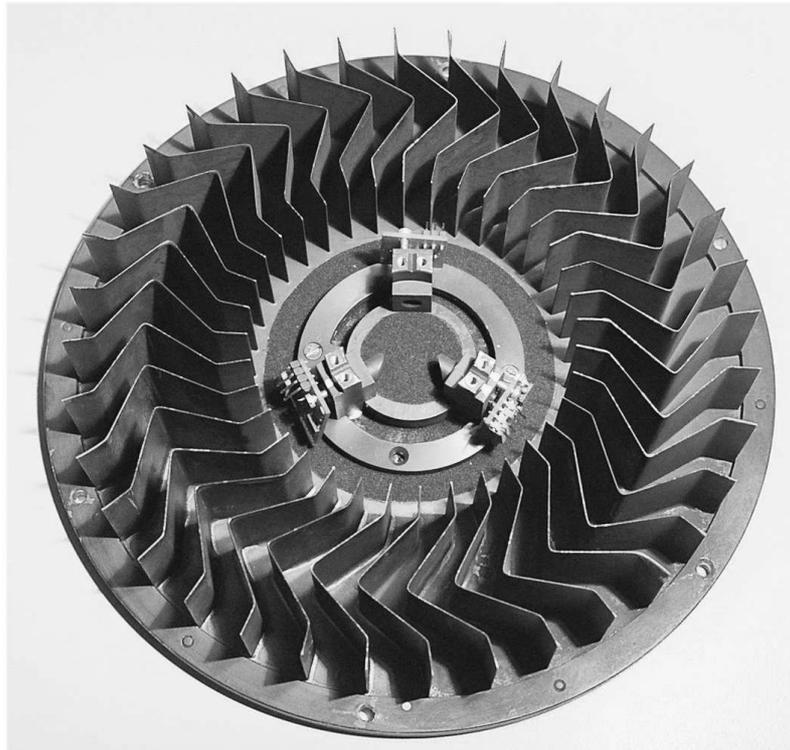


Abbildung 5.3-2: Sensorkammer des 1. Versuchsträger

Die Ergebnisse der zahlreichen Messungen an verschiedenen Aerosolen bestätigten die Erwartung, dass durch die Ausnutzung der zusätzlichen Sensor-Informationen eine verbesserte Empfindlichkeit gegenüber offenen Bränden erzielt werden kann. Jedoch kann mit einer Doppel-Optik allein keine vollständige Unterdrückung von Täuschaerosolen erzielt werden.

Dies führte zu der Entscheidung, eine weitere (dritte) Sendediode in den Sensorkopf zu integrieren. Bei diesem Aufbau werden die Vorwärtsstreusignale einer blauen und einer IR-Diode (120 °) gemessen, hinzu kommt das zurück gestreute Licht einer ebenfalls blauen Diode (60°) wie in **Abbildung 5.3-3** zu sehen ist. Damit sollte eine größere Empfindlichkeit gegenüber offenen Bränden und eine geringere Empfindlichkeit gegenüber Stäube erzielt werden.

07.Juli 2010		61
--------------	--	----

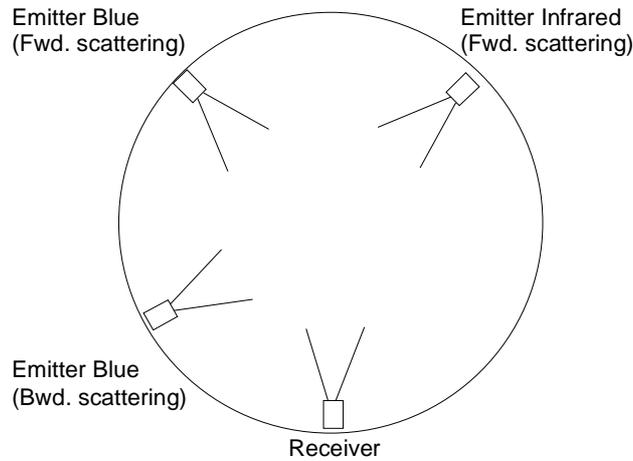


Abbildung 5.3-3: Anordnung mit 3 Sendedioden innerhalb der Messkammer

Auf Basis der so definierten optischen Sensorik ergibt sich folgendes Konzept für die Sensor-Plattform:

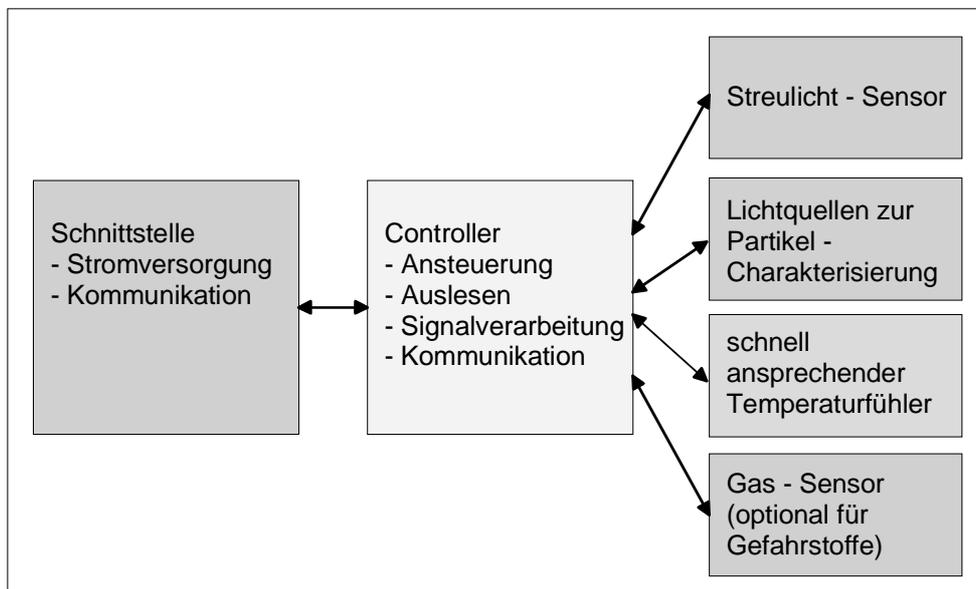


Abbildung 5.3-4: Konzept der modularen Sensor-Plattform

Zusätzlich zu dem optischen Sensor zur Bestimmung der Aerosol-Konzentration wird ein schnell ansprechender Temperaturfühler, der Brandszenarien, welche nur wenige

Rauchpartikel freisetzen (z. B. Alkohole, Flüssiggase) über den Temperaturanstieg detektieren soll, implementiert.

Die Verwendung von Gassensoren ist wegen ihrer nicht sicher verifizierbaren Funktion (Sensorgifte, Alterung) für dieses Projekt ausgeschlossen worden. Solche Sensoren können aber zukünftig im Bedarfsfall einfach integriert werden.

Die Kommunikation soll über eine CAN – Schnittstelle erfolgen. Der Kommunikationsbus ist nach dem Daisy-Chain Verfahren aufgebaut. Dadurch kann eine Pin-Programmierung umgangen werden.

Die so definierte Sensor-Plattform war Gegenstand der weiteren Untersuchungen in diesem Projekt.

5.3.3. Detallierung und Spezifizierung der Sensor-Plattform

Nach Voruntersuchung mithilfe optischer Simulationsverfahren wurden iterativ eine optische Messkammer mit 64mm Durchmesser und deltaförmigen Lichtfallen (**Abbildung 5.3-5 links**) und die dazugehörige Hardware zur Auswertung der Messsignale realisiert. In der so realisierten Messkammer kommen eine infrarote und zwei blaue Sendedioden zum Einsatz. **Abbildung 5.3-5 rechts** zeigt den entsprechend aufgebauten Versuchsträger.

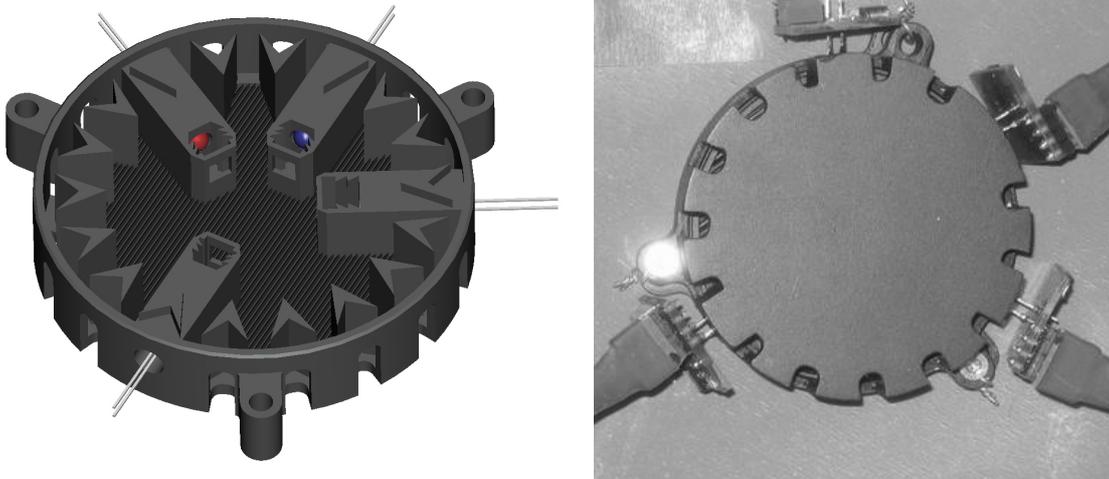


Abbildung 5.3-5: Sensorkammer in 3D-Modell und Prototyp

Die Kombination von IR-Lichtquelle und Vorwärtsstreuwinkel ist sehr gut geeignet zur Detektion von Brandaerosolen. Die zwei blauen Sendedioden werden verwendet um besonders kleine Partikeln zu detektieren.

Die Voruntersuchungen mit Hilfe eines optischen Simulationsprogramms umfassten sowohl das Reflexionsverhalten im Innern der Messkammer (Abschattungen, Schwärzung, Lichtfallen) als auch das Eindringen von Fremdlicht in die Kammer und steckten damit die für die mechanische Konstruktion erforderlichen geometrischen Randbedingungen ab (Abb. 6.3-6 und 6.3-7).

07.Juli 2010		63
--------------	--	----

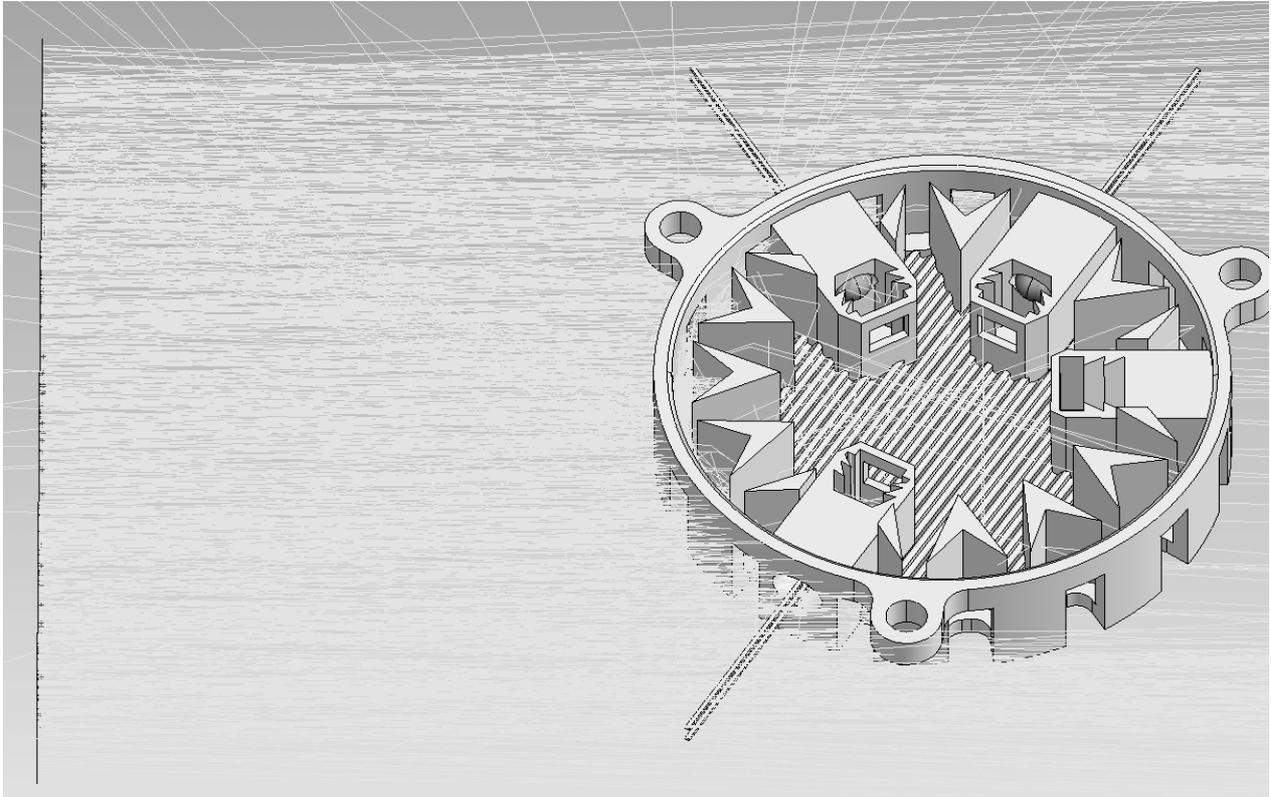


Abbildung 5.3-6: Simulation des Fremdlichteintrags

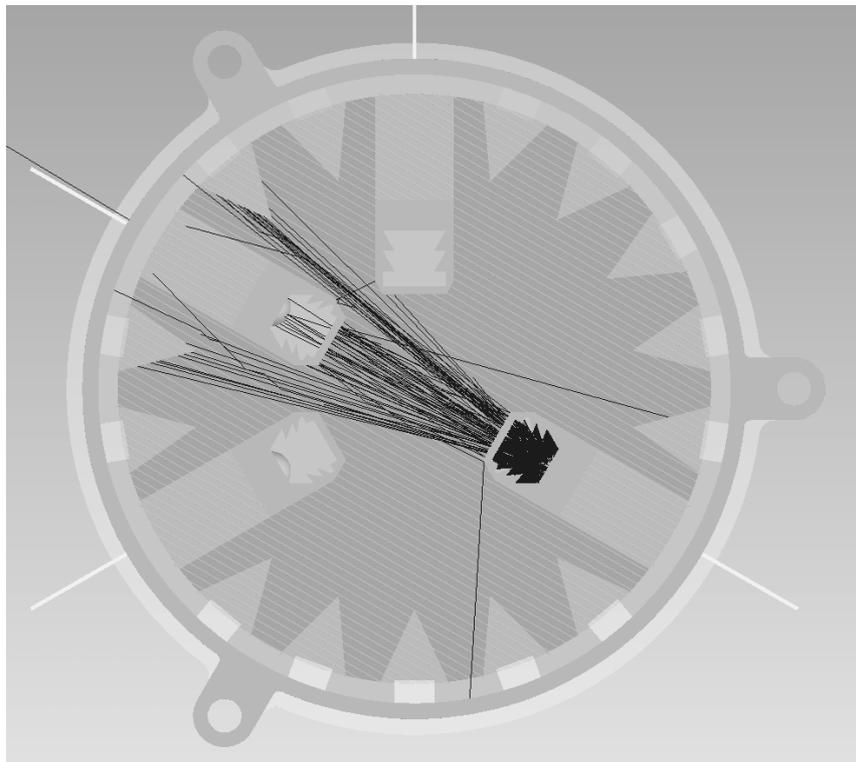
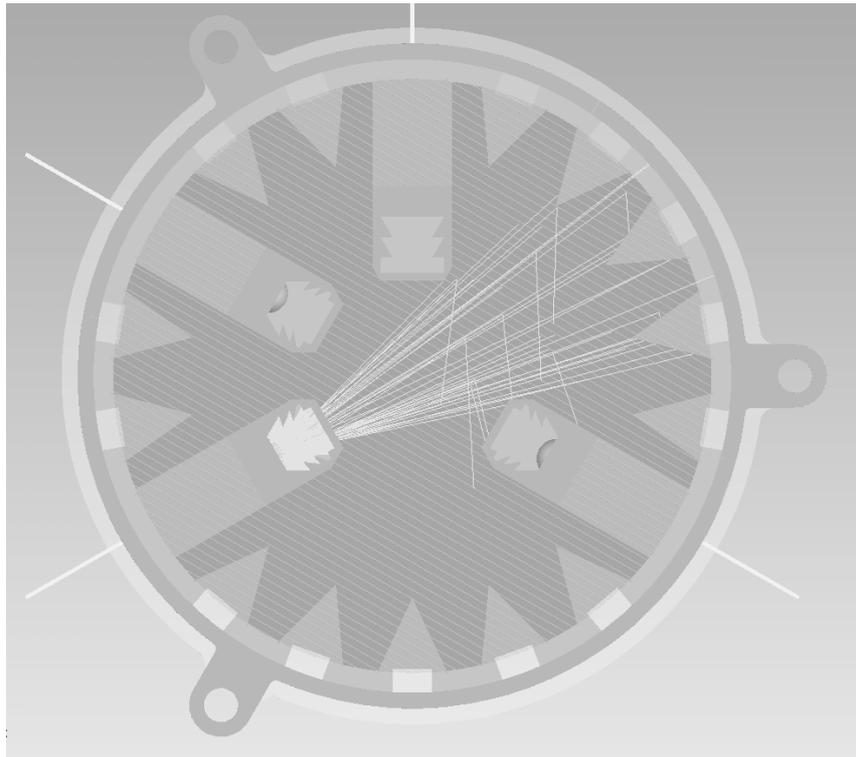


Abbildung 5.3-7: Simulation des Streuverhaltens des Lichtes

Mit dem gemäß **Abbildung 5.3-5** aufgebauten Labormuster wurden zahlreiche Messungen an verschiedenen Aerosolen durchgeführt. Die verschiedenen Versuchsanordnungen sind in den folgenden Abbildungen zu sehen.

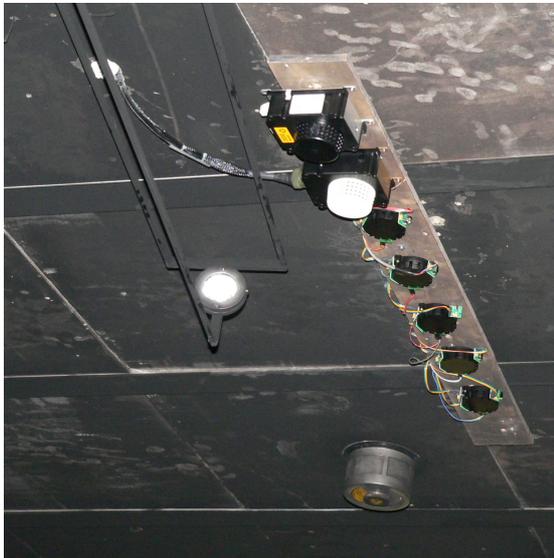


Abbildung 5.3-8: Position an der Decke des Brandraumlabor

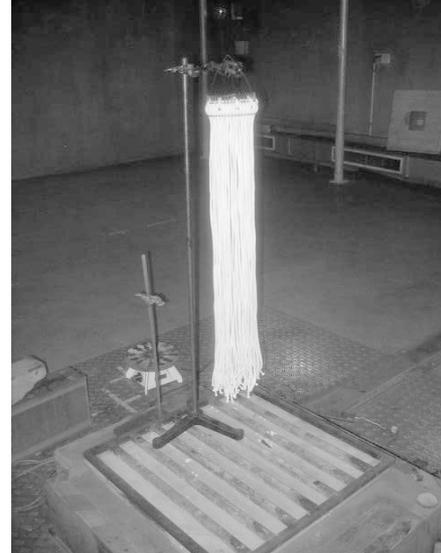
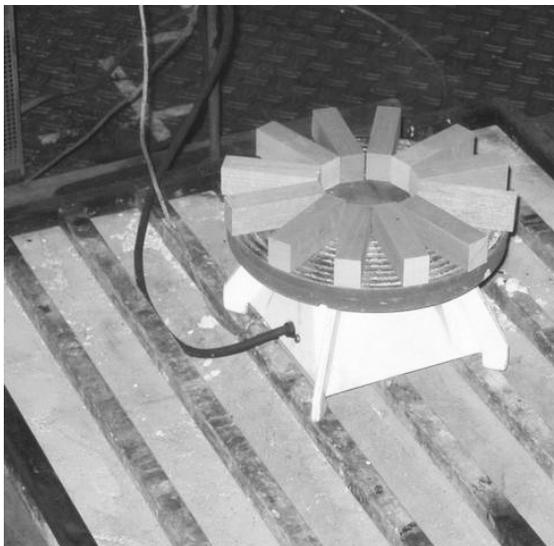


Abbildung 5.3-9: Testaufbau für die Tests der EN54-7 TF2 (links) und TF3 (rechts)



Abbildung 5.3-10: Testaufbau für die Testfeuer TF4 und TF5 der EN54-7

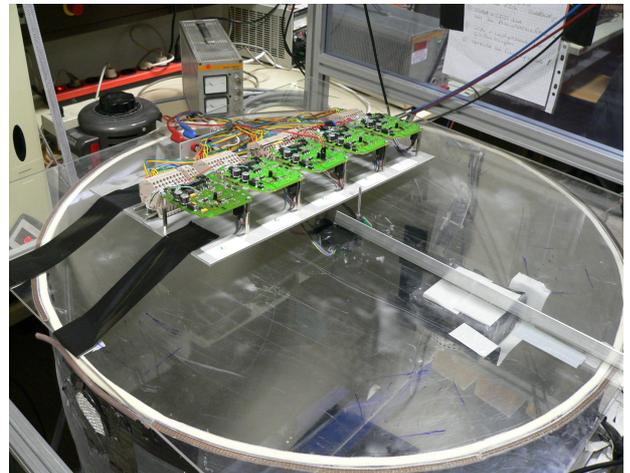
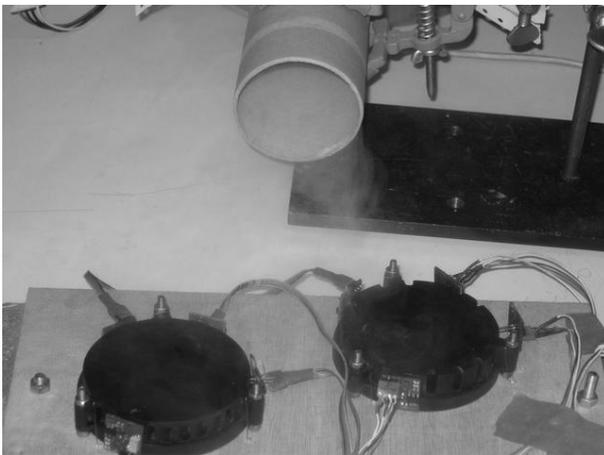


Abbildung 6.3-11: Tests mit Zigarettenrauch

Abbildung 6.3-12: Tests in der Staubtonne

An diesen Testaufbauten wurde eine Testkampagne mit einer größeren Zahl unterschiedlicher Tests durchgeführt. Die Kampagne umfasste sowohl Testreihen mit diversen Brandlasten als auch eine Reihe von Tests mit typischen Störgrößen (Staub, Wasserdampf, Parrafin-Nebel).

Durch Auswertung und Diskussion der so gewonnenen Meßdaten wurde iterativ ein Bewertungsalgorithmus definiert, in den sowohl die eigentlichen Signale der Sendedioden als auch deren Quotienten eingehen. So wird in mehreren Schritten die Entscheidung gefällt, ob die detektierten Partikel von einem entstehenden bzw. bereits vorhandenen Feuer stammen oder als Störaerosol zu interpretieren sind, also bei einem klassischen Detektor zum Fehlalarm führen würden.

Um die Robustheit des so entwickelten Algorithmus gegenüber der Alterung der Dioden einzuschätzen, wurden Überlegungen bezüglich des Drifts der Signalwerte angestellt. So haben etwa Alterung bzw. Verschmutzung der Empfangsdiode zur Folge, dass alle Signale gleichermaßen gedämpft werden. Außerdem muß auch ein mögliches unterschiedliches Alterungsverhalten der Sendedioden berücksichtigt werden, die typischerweise unterschiedlich bestromt werden und deshalb auch

07.Juli 2010		67
--------------	--	----

unterschiedlich degradieren. Diese Analysen müssen durch langwierige Dauertests verifiziert werden, was im Rahmen dieses Projektes nur teilweise umgesetzt werden konnte.

5.3.4. Fertigung und Integration der Sensor-Plattform

Das im Rahmen dieses Projektes entstandene Labormuster eines dreikanaligen Rauchmelders (Abb. 6.3-14) basiert auf einem vorhandenen, einkanaligen AOA-Rauchmelder (Abb. 6.3-13), dessen Grundfunktionen hinreichend definiert und erprobt sind.

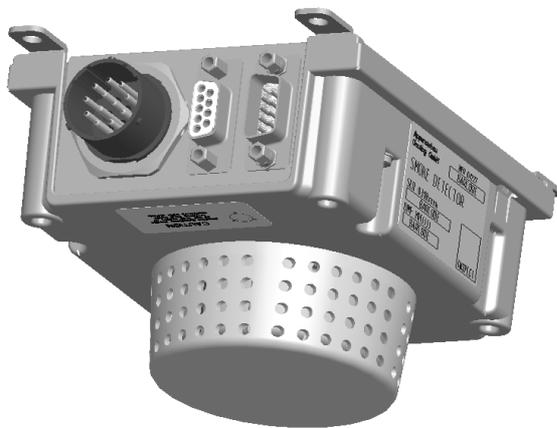


Abbildung 6.3-13 Einkanaliger Rauchmelder

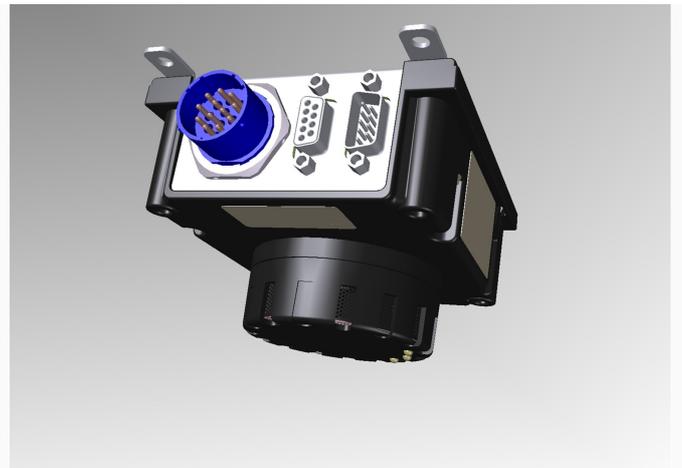


Abbildung 6.3-14 Labormuster als 3D-Modell

Die äußeren Abmessungen des Labormusters konnten unverändert beibehalten werden. Durch geeignete Ausführung des Gehäuses und eines neuartigen Schutzgitters gegen eindringende Partikel kann die Raucheinlasshaube des alten Rauchmelder-Gehäuses entfallen.

Die Sensoreinheit (Abb. 6.3-15) wurde völlig neu konstruiert, sie besteht aus der Sensorkammer (Abb. 6.3-16) mit den optischen Sensoren, dem Temperatursensor, einer Beheizung der Sensorkammer, der Leiterplatte mit den Ansteuerkomponenten für die Sensoren sowie den Steckverbindungen zur Grundplatine. Die Sensoreinheit ist auf dem quaderförmigen Gehäuse des Melders aufgesetzt, wobei ein 30-poliger Stecker die elektrischen Verbindungen zwischen Grundplatine und Sensorkammer herstellt. Die Sensoreinheit bildet somit eine eigene, elektrisch prüfbare Baugruppe, die lösbar auf der Grundplatine montiert ist. Die Stirnfläche der Messzelle sowie die Mantelfläche ist zugleich auch Außenfläche des Melders. Der Lufteintritt in die Sensorkammer erfolgt über die Mantelfläche, die vor Eindringen von Fremdkörpern durch ein geeignetes Gitter geschützt ist.

07.Juli 2010		68
--------------	--	----

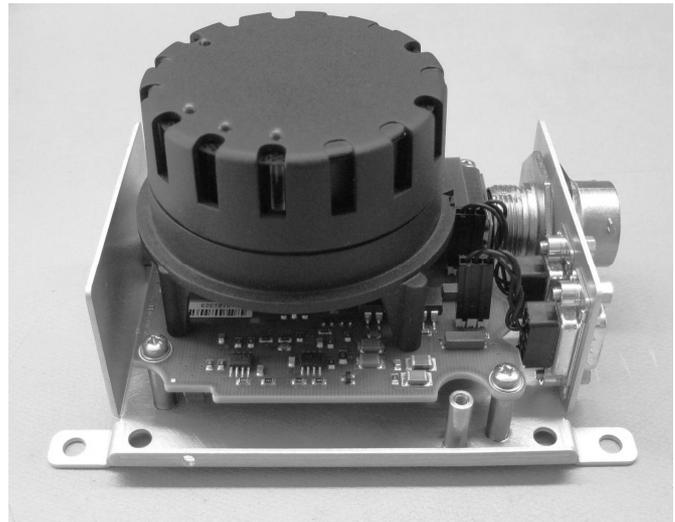
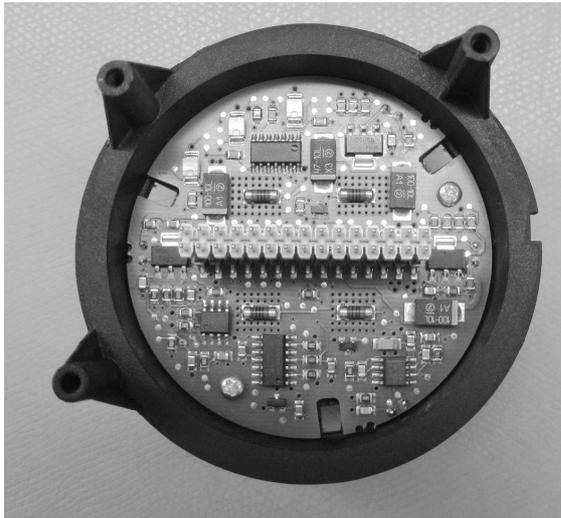


Abbildung 6.3-15 Sensorplatine (links) und Grundplatine mit Sensoreinheit (rechts)

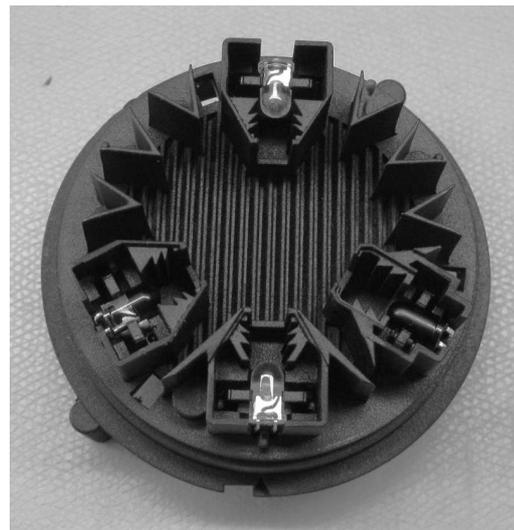


Abbildung 6.3-16: Sensorkammer

In der eigentlichen Messkammer befinden sich die Sendedioden (3 LED), die Empfangsdiode (IR-Fotodiode), der Temperatursensor und außen eine Funktionsanzeige.

Der auf der Außenfläche der Sensorkammer montiert Temperatursensor kann Temperaturänderungen der Umgebungsluft fast ohne Zeitverzug detektieren. Er liefert somit zusätzliche Information zur Branddetektion, wie sie die EN54-5 fordert.

Zur Vermeidung von Kondensation von Wasserdampf im Inneren (Kondensation) wird die Messkammer abhängig von der Umgebungstemperatur beheizt. Die Heizung ist in Form von auf der Platine montierten Heizwiderständen realisiert.

Drei sichtbar angeordnete LED's sollen die folgenden Betriebszustände anzeigen: rot = Alarm, gelb = Störung, grün = Betrieb. Weitere Zustände können z.B. über einen Blinkcode realisiert werden.

Fazit

Ziel dieses Arbeitspakets war die Entwicklung einer modularen Sensor-Plattform zur frühzeitigen Branderkennung, die ohne Beschränkung der sicheren Branderkennung insbesondere die durch unterschiedliche Arten von Störgrößen hervorgerufenen Fehlalarme heutiger Melder signifikant reduzieren kann.

Auf Basis der Bewertung der Ergebnisse einer Literatur- und Patentrecherche sowie einer Reihe von Vorversuchen mit 2-Kanal-Optiken wurde schließlich eine neuartige Sensor-Plattform mit einer speziellen 3-Kanal-Optik entwickelt. Diese erlaubt eine sichere Erkennung der Rauchsorte sowie eine Unterscheidung von Störgrößen wie Staub und Aerosolen. Dabei wird sowohl die Abhängigkeit des Streusignals von der Wellenlänge des verwendeten Lichts ausgenutzt, als auch die Winkelabhängigkeit des gestreuten Signals ausgewertet. Die optische Sensorik wird ergänzt durch Temperatursensoren sowie durch Heizwiderstände, die in ihrem Zusammenspiel insbesondere gegen Betauung wirksam werden, einer typischen Fehlalarmquelle. Darüber hinaus ist die Integration von zusätzlichen Gassensoren bereits jetzt vorbereitet.

Die Sensor-Plattform wurde in verschiedenen Ausführungen als Labormuster aufgebaut, iterativ verbessert und in umfangreichen Testreihen überprüft. Dabei wurde insbesondere ein spezieller Auswertalgorithmus für die 3-Kanal-Optik entwickelt und verifiziert. Die Ergebnisse der mit diesem Algorithmus durchgeführten Brand- und Störversuche haben gezeigt, dass das Projektziel einer deutlich reduzierten Fehlalarmrate ohne Einschränkungen erreicht werden konnte.

AOA hat zwischenzeitlich beschlossen, das Projekt mit Eigenmitteln fortzuführen und das neue Gerät für eine Serienfertigung vorzubereiten. Vor einer wirtschaftlichen Verwertung der Ergebnisse sind jedoch noch eine Reihe von Untersuchungen zum Alterungsverhalten der Sendedioden sowie verschiedene Zuverlässigkeitstests notwendig, die bisher aufgrund der zeitlichen Begrenzung dieses Förderprojektes noch nicht stattfinden konnten.

07.Juli 2010		70
--------------	--	----

5.4. AP 4 Hochintegriertes modulares Abwassersystem

5.4.1. Vergleichende Betrachtung von Drucktank und konformem Tank bei herkömmlichen Druckbelastungen

In diesem Teilprojekt wurde untersucht, wie sich die freie Geometriewahl eines konturangepassten Tanks gegenüber dem Drucktank auf die Masse des Bauteils auswirkt. Die Anforderungen an den Tank entsprechen dabei den bisherigen Vorgaben für „klassische“ Vakuumtoilettensysteme. D.h. am System wurden zunächst keine Änderungen vorgenommen (vgl. Kap. 6.4.2).

Außerdem wurden erste Bauweisenuntersuchungen für den konturangepassten Tank durchgeführt. Für den als Referenz mitlaufenden Drucktank wurde das bekannte CFK-Wickelverfahren gewählt.

Die Auslegungsrechnungen sowie wesentliche Teile der konstruktiven Ausarbeitung dieses Teilprojektes wurden an die TU Chemnitz unterbeauftragt.

5.4.1.1. Vorgaben für vergleichende Auslegung

Als Spezifikation für die Auslegung beider Tanks wurden folgende Hauptmerkmale zugrunde gelegt (vgl. Spezifikation SES 500 0105 11):

- Mangels anderweitiger Vorgaben wurde ein moderat konformes Design gewählt, das bewusst darauf verzichtet, die maximalen Bauraumvorteile zu realisieren:
 - Quaderförmiger Behälter mit Auslaufschrägen
 - Seitenverhältnisse (etwa):

Länge	Breite	Höhe
3	1,5	1

- Eine Leckage darf bei beliebigem Füllstand und beliebiger Fluglage in keinem Betriebszustand auftreten.
- Der Separator muss in jeder Fluglage drainieren können. Der Anschluss für den Separator muss innerhalb folgender (statischer) Fluglagen außerhalb des Waste Levels liegen.

Betriebszustand	Winkelbereich
Rollwinkel	±10°
Bodenbetrieb	±2°
Reiseflug	0°...+4°
Sinkflug	-3°...+10°
Steigflug	+4°...+10°

- Das tatsächliche (Brutto-)Volumen muss mindestens 325 l betragen. Es ist aus der Fluglagebetrachtung ein Freiraum zu berücksichtigen, was zu einem erhöhten Brutto-Volumen führt.

- Das Waste Tank Modul muss auf eine Lebensdauer von 25 Jahren oder $6 \cdot 10^6$ Spülvorgängen ausgelegt werden.
- Das Waste Tank Modul muss folgende Anschlüsse aufweisen:
 - Waste Tank Fixierung im Flugzeug,
 - 4" Anschluss für externen Separator,
 - 2" Be-/Entlüftungsventil,
 - ¾" Spülleitung,
 - 4" Drainageleitung,
 - Power-/Datenleitung für Füllstandsmessung.
- Das Waste Tank Modul muss mit einem integrierten Spülsystem ausgerüstet sein, über das das Tankinnere reinigt und der Tank mit dem Desinfektionsmittel beschickt wird.
- Die ausreichende Tankreinigung muss durch den üblichen Bodenservice für Entleerung und Spülung sichergestellt sein.
- Der Spüldruck beträgt 1,38 bis 4 bar.
- Ein Spüldruck bis zu 8,62 bar darf keine Schäden am Spülsystem verursachen. Der Auslegungsdruck des Tanks ist davon aber nicht betroffen.
- Beim Drucktank reichen erfahrungsgemäß zwei Spüldüsen aus. Der konforme Tank soll mit vier Düsen ausgerüstet werden um insbesondere die Ecken reinigen zu können.
- Alle Spüldüsen werden über einen Anschluss mit dem A/C verbunden. Die Verteilung ist Teil des Tankmoduls.
- Das Waste Tank Modul muss mit einer kontinuierlicher Füllstandsmessung und „Tank voll“-Erkennung ausgestattet sein. Diese dürfen nicht mit dem Abwasser in Kontakt kommen.
- Bei horizontaler Ausrichtung des Tanks muss eine Bodenneigung von $>4^\circ$ zum Auslauf erreicht werden.
- Nach der Drainage darf kein flüssiges Abwasser im Tank zurückbleiben.
- Vakuum Drainage mit -0,7 bar muss möglich sein.
- Beständigkeit gegen flüssige und feste Medien aus Betrieb und Wartung muss gegeben sein.
- Das Waste Tank Modul muss bei Raumtemperatur folgende Drücke aushalten:

	Druck ($p_{in}-p_{out}$)	Prüfung bei
Differenzdruck im Betrieb	-0.069 to -0.69 bar	entfällt
Prüf-Differenzdruck	-0.86 bar	Bauteilabnahme
Implosionsdruck	-1.28 bar	Designverifikation
Prüf-Überdruck	+4.14 bar	Designverifikation

- Folgende statische Beschleunigungen müssen ohne Beeinträchtigungen der Funktion ertragen werden:
Z = 9g / -7g; X = 9g / -2g; Y = 4.5g / -4.5g.
- Lagerung des Drucktanks im Flugzeug:
 - Weitgehend statisch bestimmte Lagerung
 - Je zwei Streben an beiden Polöffnungen für Vertikal- und Seitenlasten
 - Zwei Streben am Zylindermantel, entweder auf einen Punkt oder auf zwei, für Längslasten.
- Lagerung des konturnahen Tanks im Flugzeug:
 - Weitgehend statisch bestimmte Lagerung
 - Lagerpunkte bevorzugt an den Ecken

Im ersten Schritt wurde das notwendige Bruttovolumen ermittelt, um den Separator-Anschluss bei maximalem Füllstand und jeder Fluglage frei von Waste zu halten. Dadurch wird eine uneingeschränkte Drainierbarkeit sichergestellt. Für diese Betrachtung wurden die gewählte Länge (1250 mm) und Breite (625 mm) festgehalten und die Höhe variiert. Es errechnet sich ein Verlustvolumen von ca. 25 l, d.h. die Tankhöhe muss um 30 mm vergrößert werden.

Das Lagerungskonzept wurde (mangels flugzeugseitiger Vorgaben) hinsichtlich minimaler Tankmasse optimiert. Alle Lagerungspunkte liegen an der Unterseite des Tanks im Eckenbereich. Damit lässt sich (in verschiedenen Varianten) eine statisch bestimmte Anbindung an darunterliegende Strukturbauteile realisieren.

07.Juli 2010		73
--------------	--	----

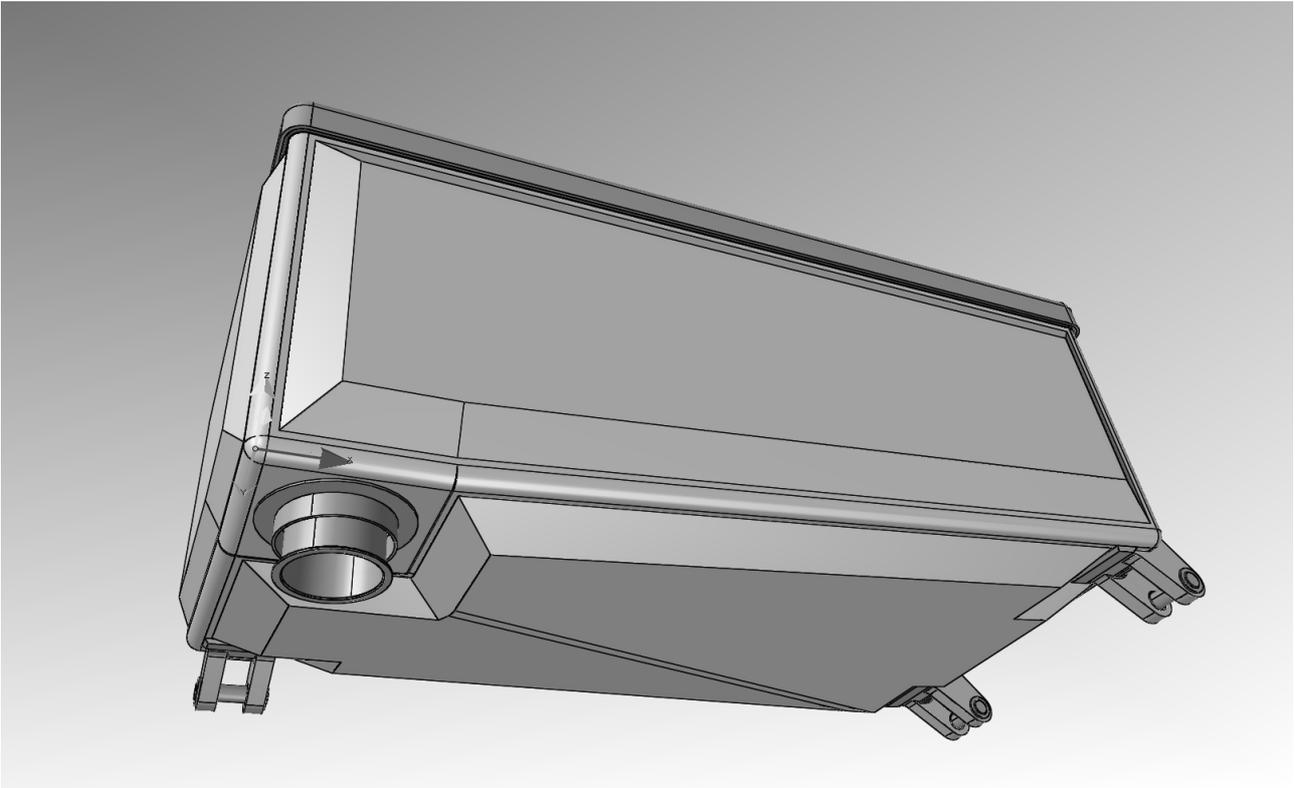


Abbildung 6.4-1: Lagerungskonzept „Konformer Tank“

5.4.1.2. Auslegungsrechnung „Konformer Tank“

Für die Auslegung des Tanks wurde ein bidirektionales ($k_{||} = 0,5$) HT-Kohlefaser-gewebe bei einem Faservolumengehalt von 55% angenommen.

Beim Stützmaterial für das Sandwich wurde aus Brandschutzgründen ein PEI-Schaum verwendet. Um ausreichende Schubwerte zu erreichen muss ein relativ hohes Raumgewicht von 80 kg/m^3 verwendet werden. Honigwaben wurden aufgrund der groben, intern offenen Zellenstruktur ausgeschlossen.

Bereits bei den ersten Rechenläufen stellte sich heraus, dass ein Berstdruck von 4,14 bar nicht erreichbar ist. Im Gegensatz zum Drucktank wird die konforme Tankschale gleichermaßen durch Innen- und Außendruckdifferenzen beansprucht. Die Druckforderung wurde auf +1,28 bar (dem Niveau des Implosionsdrucks) reduziert.

Besonders kritisch erwies sich hierbei die Schubbeanspruchung in den Sandwichkernen (Schaum).

Die Berechnung wurde mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente (FEM) für jede Tankwand separat durchgeführt. Aus der Laminatanalyse (ESAComp) wurden die Steifigkeiten ermittelt, an das FEM-Programm (ANSYS) übergeben und die dort ermittelten Dehnungen wieder im Laminatprogramm ausgewertet.

Für die Deckschichten bzw. den monolithischen Randbereich wurde das Versagenskriterium der Einzelschichten nach Puck verwendet. In der Regel ist hierbei der Zwischenfaserbruch ausschlaggebend.

07.Juli 2010		74
--------------	--	----

Der Schaum wurde hinsichtlich seiner „stress intensity“ als Vergleichsspannung ausgewertet.

Die Variantenrechnung bzgl. der Faserorientierung zeigte deutliche Vorteile bei einer Anordnung im $\pm 45^\circ$ -Winkel zu den Tankkanten.

Die Auswahl der Schichtdicken erfolgte nach Werkstoffanstrengung.

	Material	Oberseite Unterseite	Seitenwände	Vorderseite Rückseite
Dicke Kernmaterial [mm]	PEI-Schaum	35	30	20
Dicke jeder Sandwichhaut	CFK	4,8	4,8	4,8
Dicke im monolithischen Randbereich [mm]	CFK	9,6	9,6	9,6

Tabelle 0.4-1: Gewählte Schichtdicken („Konformer Tank“)

Die höchsten Verformungen und Materialbelastungen ergeben sich bei der oberen Tankwand.

Die nachfolgenden Abbildungen 6.4-2 bis 6.4-5 zeigen beispielhafte Ergebnisse der FEM-Berechnungen sowie Zeichnungen des konformen Tanks.

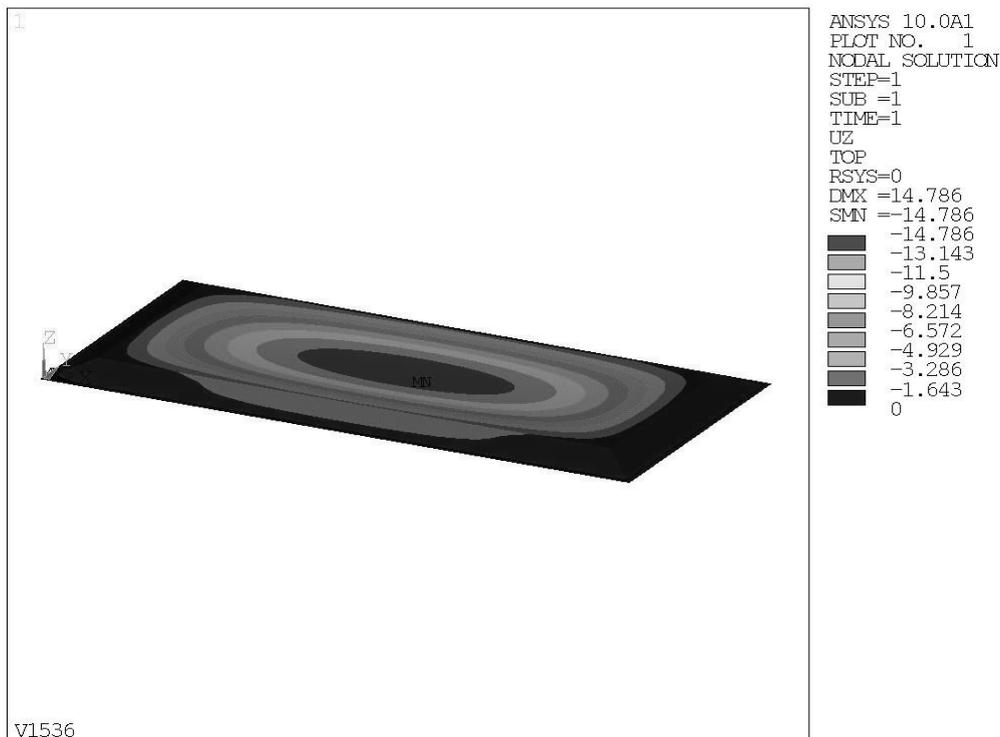


Abbildung 6.4-2: Obere Tankwand – Verformung (Maximalwert 14,8 mm)

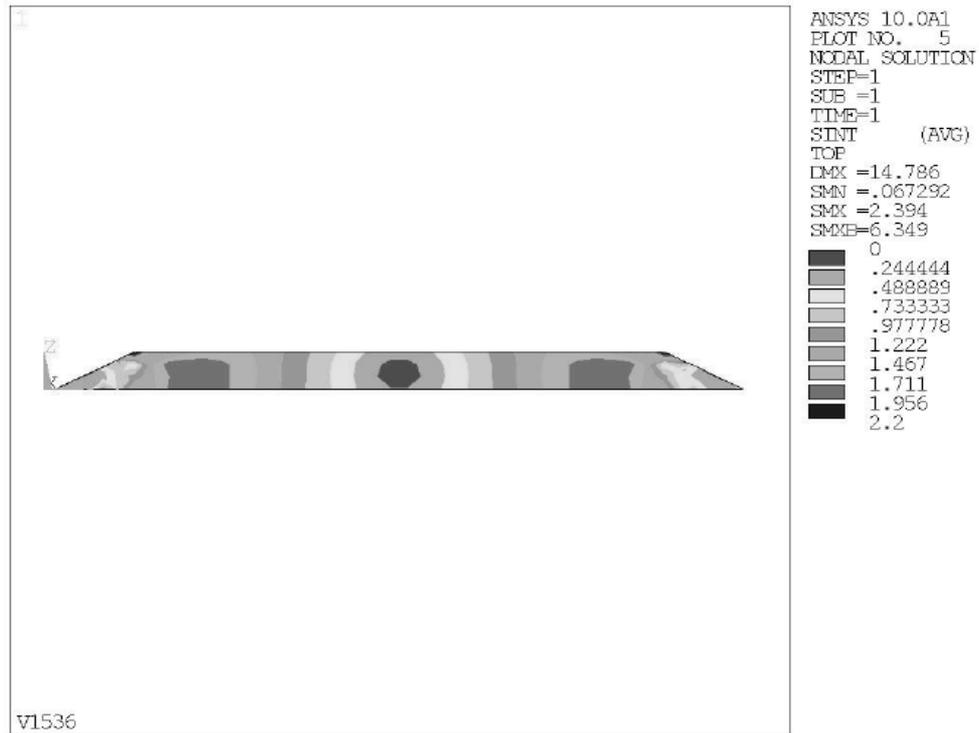


Abbildung 6.4-3: Obere Tankwand – Schubbeanspruchung im Schaum (Limit: 2,2 MPa)

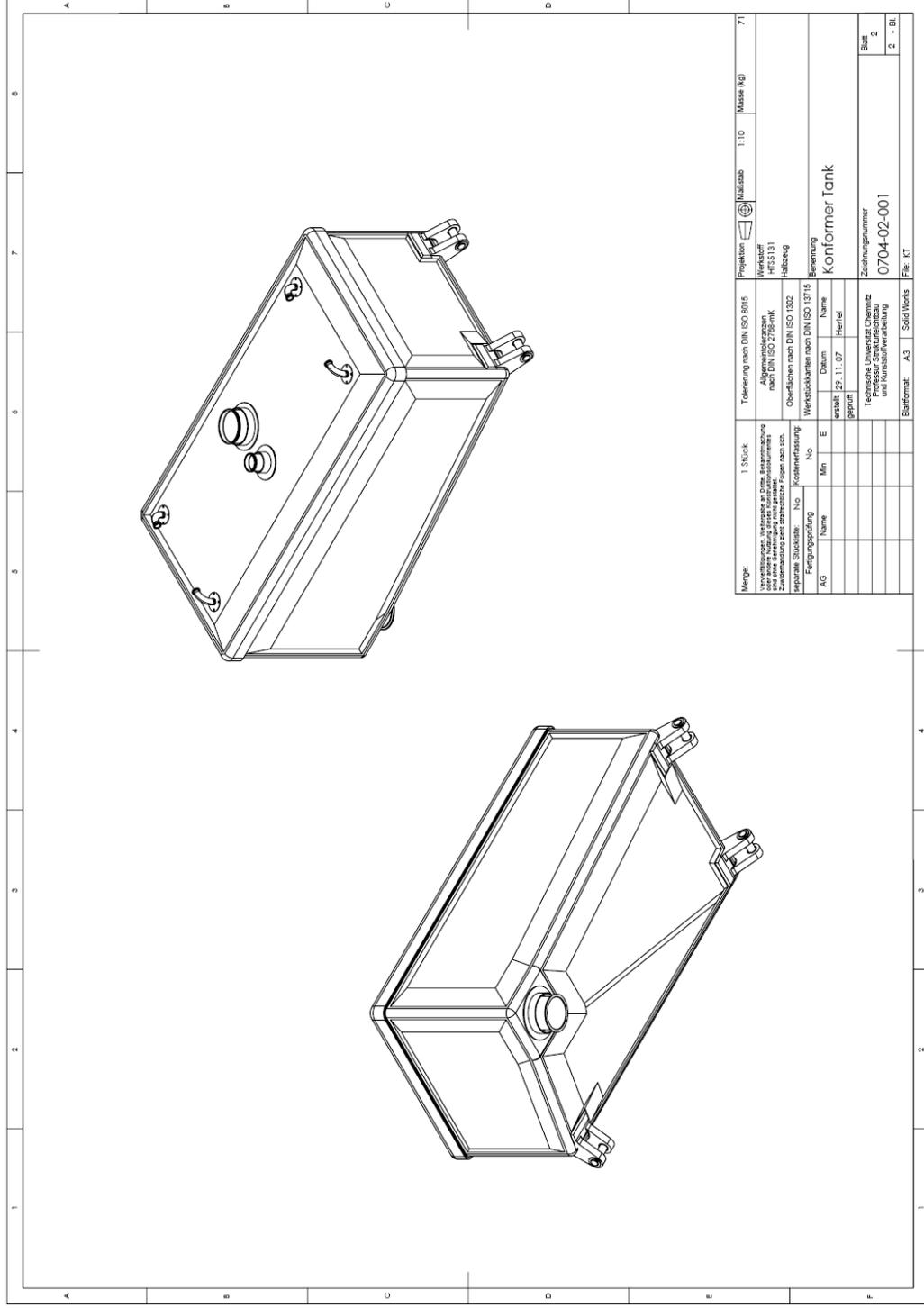


Abbildung 6.4-5: Zeichnung „Konformer Tank“ (Blatt 2)

5.4.1.3. Designentwurf „Drucktank“

Bei einem um 4° nach vorne geneigten Einbau im Flugzeug ist ein Mehrvolumen von ca. 5 Litern ausreichend, um die Drainierbarkeit des Separators unter allen Fluglagen sicherzustellen. Es wurde ein Bruttovolumen von 330l gewählt.

Hieraus ergibt sich mit „Isotensoid-Böden“ bei einer gewählten Gesamtlänge von 1200 mm ein Innendurchmesser von 620 mm.

Die Lagerung erfolgte mit zwei Streben an beiden Polöffnungen für Vertikal- und Seitenlasten und zwei Streben am Zylindermantel für Längslasten.

5.4.1.4. Auslegungsrechnung „Drucktank“

Bei den o.g. Geometrie- und Druckdaten ergibt sich aus der analytischen Auslegung ein Optimum bei einer Längslage von 1,6 mm Dicke und einer Umfangslage von 0,8 mm. Des Weiteren werden zwei umlaufende Ringe zur Außendruckstabilisierung benötigt.

Der rechnerische Berst-Implosionsdruck liegt bei >1,85 bar. Der mögliche Innendruck liegt deutlich über den geforderten 4,14 bar.

Die nachfolgende Abb. 6.4-6 zeigt den gemäß dieser Überlegungen ausgelegten Drucktank.

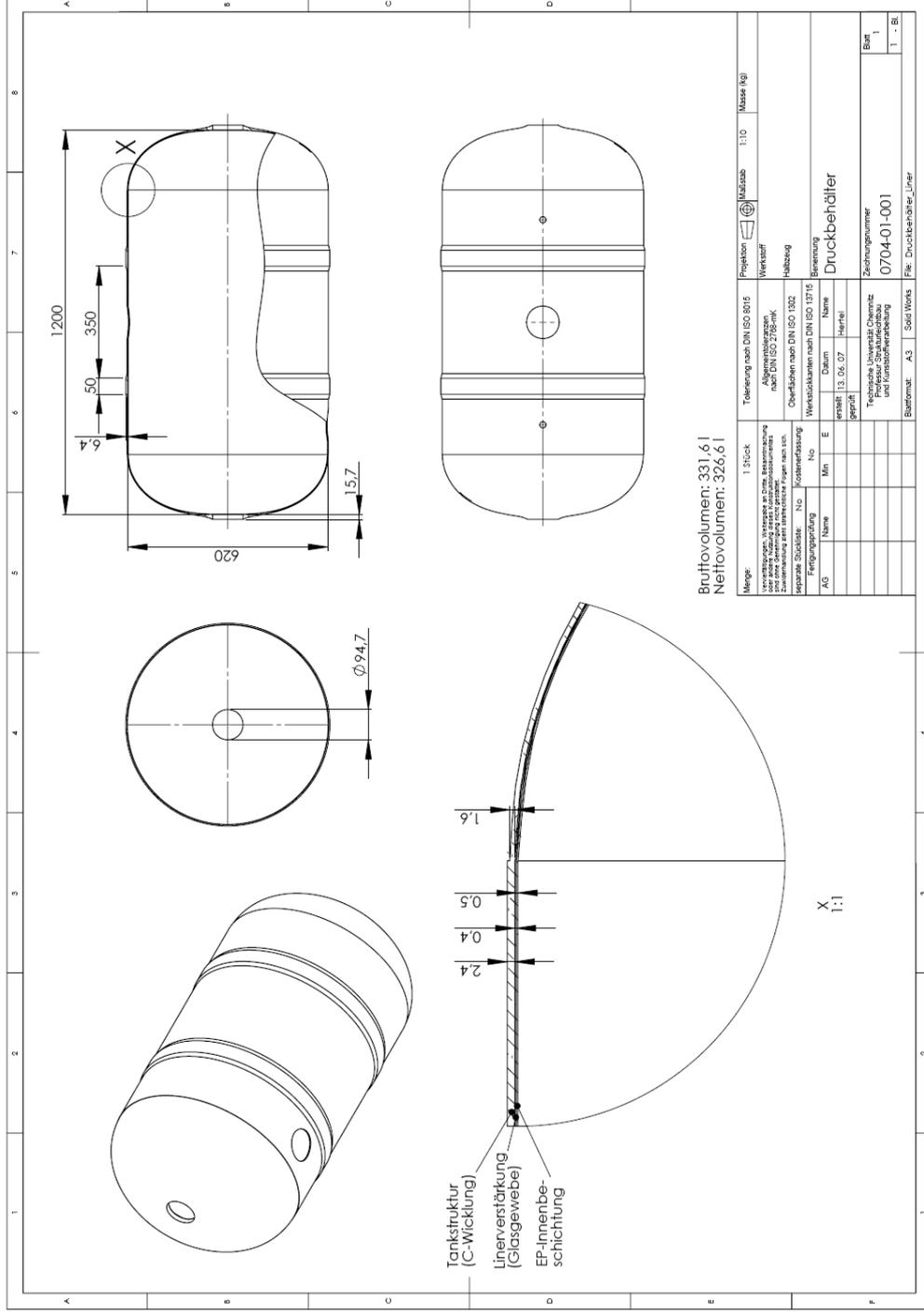


Abbildung 6.4-6: Zeichnung „Drucktank“ (ohne Anbauteile)

5.4.1.5. Massenvergleich

Die Massen der Tankschalen wurden aus den Entwurfsmodellen und –Analysen ermittelt.

Die Anbauteile wurden von bestehenden Elementen abgeleitet.

Massenvergleich Drucktank - konformer Tank										
	Drucktank				20,7 kg	Konformer Tank				70,9 kg
	Einzel- masse	Anzahl	Gesamt- masse	Summe		Einzel- masse	Anzahl	Gesamt- masse	Summe	
Tankschale				15,4 kg					60,7 kg	
Liner	2,9 kg	1 Stk.	2,9 kg			3,07 kg	1 Stk.	3,07 kg		
CfK-Schale	10,6 kg	1 Stk.	10,6 kg			51,58 kg	1 Stk.	51,58 kg		
Schaum						5,76 kg	1 Stk.	5,76 kg		
Schäftung (Faser+Harz)	0,68 kg	1 Stk.	0,68 kg				1 Stk.	0 kg		
Füllstandssensor (Level)	0,03 kg	2 Stk.	0,06 kg			0,015 kg	2 Stk.	0,03 kg		
Füllstandssensor (Full)	0,01 kg	2 Stk.	0,02 kg			0,01 kg	2 Stk.	0,02 kg		
Isolationslage	0,1 kg	4 Stk.	0,4 kg			0,05 kg	4 Stk.	0,2 kg		
Spachtel, Drähte, Stifte	0,03 kg	1 Stk.	0,03 kg			0,02 kg	1 Stk.	0,02 kg		
Polflansch	0,3 kg	2 Stk.	0,6 kg							
Klebstoff für Polflansch	0,04 kg	2 Stk.	0,08 kg							
Beschläge				1,6 kg					4,1 kg	
Polbracket	0,21 kg	2 Stk.	0,42 kg							
Plug Pol	0,08 kg	2 Stk.	0,16 kg							
x-Bracket	0,22 kg	2 Stk.	0,44 kg							
Hard-Patch	0,22 kg	2 Stk.	0,44 kg							
Beschlag 1						0,83 kg	2 Stk.	1,66 kg		
Beschlag 2						0,79 kg	1 Stk.	0,79 kg		
Beschlag 3						0,06 kg	6 Stk.	0,36 kg		
Beschlag 4						0,38 kg	3 Stk.	1,14 kg		
Wet-Patch							1 Stk.	0 kg		
Klebstoff für Brackets	0,1 kg	1 Stk.	0,1 kg			0,1 kg	1 Stk.	0,1 kg		
WCU				1,3 kg					1,3 kg	
WCU	0,98 kg	1 Stk.	0,98 kg			0,98 kg	1 Stk.	0,98 kg		
Tankboard	0,155 kg	1 Stk.	0,155 kg			0,155 kg	1 Stk.	0,155 kg		
Support für WCU/Tankboard	0,08 kg	2 Stk.	0,16 kg			0,08 kg	2 Stk.	0,16 kg		
Waste-in/-out Flansche				0,8 kg					1,3 kg	
Separator-Ventil Flansch	0,3 kg	1 Stk.	0,3 kg			0,35 kg	1 Stk.	0,35 kg		
Separator-Ventil Flansch Außenring	0,1 kg	1 Stk.	0,1 kg			0,14 kg	1 Stk.	0,14 kg		
Drainflansch	0,3 kg	1 Stk.	0,3 kg			0,31 kg	1 Stk.	0,31 kg		
Drainflansch Außenring	0,1 kg	1 Stk.	0,1 kg			0,23 kg	1 Stk.	0,23 kg		
						0,19 kg	1 Stk.	0,19 kg		
						0,1 kg	1 Stk.	0,1 kg		
Rinse System				1,5 kg					3,3 kg	
Spraynozzle Flansch	0,08 kg	2 Stk.	0,16 kg			0,12 kg	4 Stk.	0,48 kg		
Spraynozzle Insert	0,13 kg	2 Stk.	0,26 kg			0,05 kg	4 Stk.	0,2 kg		
Spraynozzle	0,1 kg	2 Stk.	0,2 kg			0,13 kg	4 Stk.	0,52 kg		
Rinse-Leitung	0,27 kg	2 Stk.	0,54 kg			0,27 kg	4 Stk.	1,08 kg		
Verbindungen	0,015 kg	2 Stk.	0,03 kg			0,015 kg	4 Stk.	0,06 kg		
T-Stück	0,27 kg	1 Stk.	0,27 kg			0,27 kg	3 Stk.	0,81 kg		
T-Stück Halter	0,05 kg	1 Stk.	0,05 kg			0,05 kg	3 Stk.	0,15 kg		
Bonding				0,2 kg					0,3 kg	
Strap	0,163 kg	1 Stk.	0,163 kg			0,286 kg	1 Stk.	0,286 kg		

Tabelle 0.4-2: Einzelaufstellung der Massen für Drucktank und konformem Tank

Bei Beibehaltung der Druckanforderungen des klassischen Vakuum-Toilettensystems (Innendruck auf 1,28 bar reduziert) ergibt sich für den Drucktank eine Masse von ca. 20kg und für den konformen Tank eine Masse von ca. 70kg.

Erwartungsgemäß erhöht sich durch die geänderte Geometrie die Masse somit drastisch (um ca. 50 kg), was die Forderung nach anderen Systemarchitekturen unterstreicht.

Die Reduzierung der vom Tank ertragbaren Druckdifferenz ist Voraussetzung für den Einsatz konformer Tanks.

5.4.2. Definition angepasster Anforderungen für den konturnahen Abwassertank

Gegenüber den in Abschnitt 5.4.1.1 dargestellten Vorgaben wurden folgende Veränderungen vorgenommen, um den Anforderungen des konformen Tanks Rechnung zu tragen und dessen Vorteile (Bauraumgewinn) nutzen zu können.

- Reduzierung des nutzbaren (Netto-)Volumens von 325 l auf 223 l. Ein Bruttovolumen von 270 l wurde gewählt.
- Bei dem gewählten Volumen darf der Tank bei 10°-Roll nur mit 160 l gefüllt sein. Darüber muss mit dem Öffnen des Separator Ventils gewartet werden, bis wieder geringere Rollwinkel erreicht sind. Diese Einschränkung ist akzeptabel, da es sich um Extremfälle handelt und die Umsetzung über Software vergleichsweise einfach erfolgen kann.
- Über den Vortank und das Separatorventil wird sichergestellt, dass der Vakuumdruck der Abwasserförderung aus den Toiletten nicht auf den Tank wirkt.
- Es ergeben sich folgende Druckanforderungen:

	Druck ($p_{in}-p_{out}$)	Zusatzlasten	Forderung
Differenzdruck für alle Betriebszustände (inkl. Fehlerfälle) (Limit)	-0,2 bis +0,2 bar	Kombiniert mit allen Umgebungsbedingungen Beschleunigung/ Temperatur	Keine Beeinträchtigung der Funktion/ Performance
Prüf-Differenzdruck (Proof)	-0,3bar/ +0,3 bar	1g statisch bei Raumtemperatur	Keine Beeinträchtigung der Funktion/ Performance
Implosions- /Berstdruck (Berst)	-0,4 bar/ +0,4 bar	1g statisch bei Raumtemperatur	Keine „massive“ Leckage, Lagerung bleibt intakt, Schäden erlaubt

In Absprache mit Airbus, verantwortlich für die Tankintegration im Flugzeug, wurde ein neuer Bauraum definiert. Gegenüber den anderen möglichen Bauräumen hat dieses Konzept folgende Merkmale:

- Geringste vertikale Bauhöhe, d.h. der Bauraum zwischen Tank und Fußboden/-streben ist maximal. Hierdurch soll die Integration des Vortanks/ Zyklons erleichtert werden. Außerdem wird dadurch der Bauraumvorteil gegenüber dem Drucktank maximiert.
- Dieser Freiraum kann flexibel für andere Aggregate des Toilettensystems (Separator, Vakuum-Generator etc.) oder andere Systeme (Brennstoffzelle etc.) genutzt werden
- Der Tank ist extrem konform und wird somit auch in der weiteren Entwicklung diese speziellen Charakteristiken und Probleme zeigen. Eine Übertragung auf weniger konforme Geometrien sollte dann leicht möglich sein.

- Eine direkte Anbindung an die Spante erscheint möglich. Allerdings muss dann der Rumpfverformung Rechnung getragen werden.
- Durch seine große Deckplatte kann der Tank als Modulträger verwendet werden und z.B. andere Aggregate wie den Vakuum-Generator und den Vortank/ Zyklon tragen. Dies kommt dem Ziel einer weiteren Modularisierung entgegen.

Die Tankunterseite wird durch die konische Rumpfschale vorgegeben. Die Oberseite ist parallel zum Fußboden angeordnet. Die Länge des Tanks orientiert sich am Spantabstand.

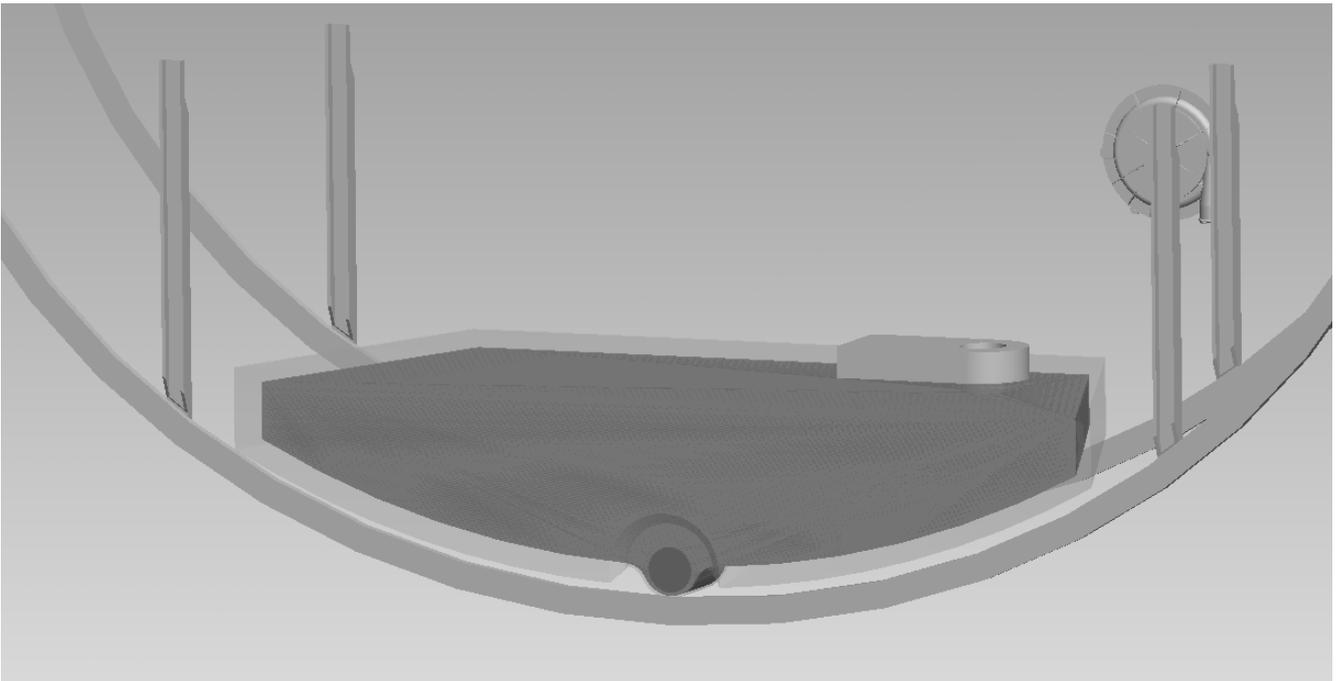


Abbildung 6.4-7: Einbauraum „AOA-Design“

Alternativer Bauraum

Durch weitergehende Untersuchungen bzgl. des Separators seitens Airbus wurde die Notwendigkeit deutlich, noch mehr Bauraum über dem Tank zu erhalten, d.h. die Tankoberfläche abzusenken.

Parallel wurde daher mit reduzierter Detaillierung ein anderer Bauraum für den Tank untersucht, bei dem der Tank asymmetrisch nur eine Bodenhälfte beansprucht.

07.Juli 2010		83
--------------	--	----

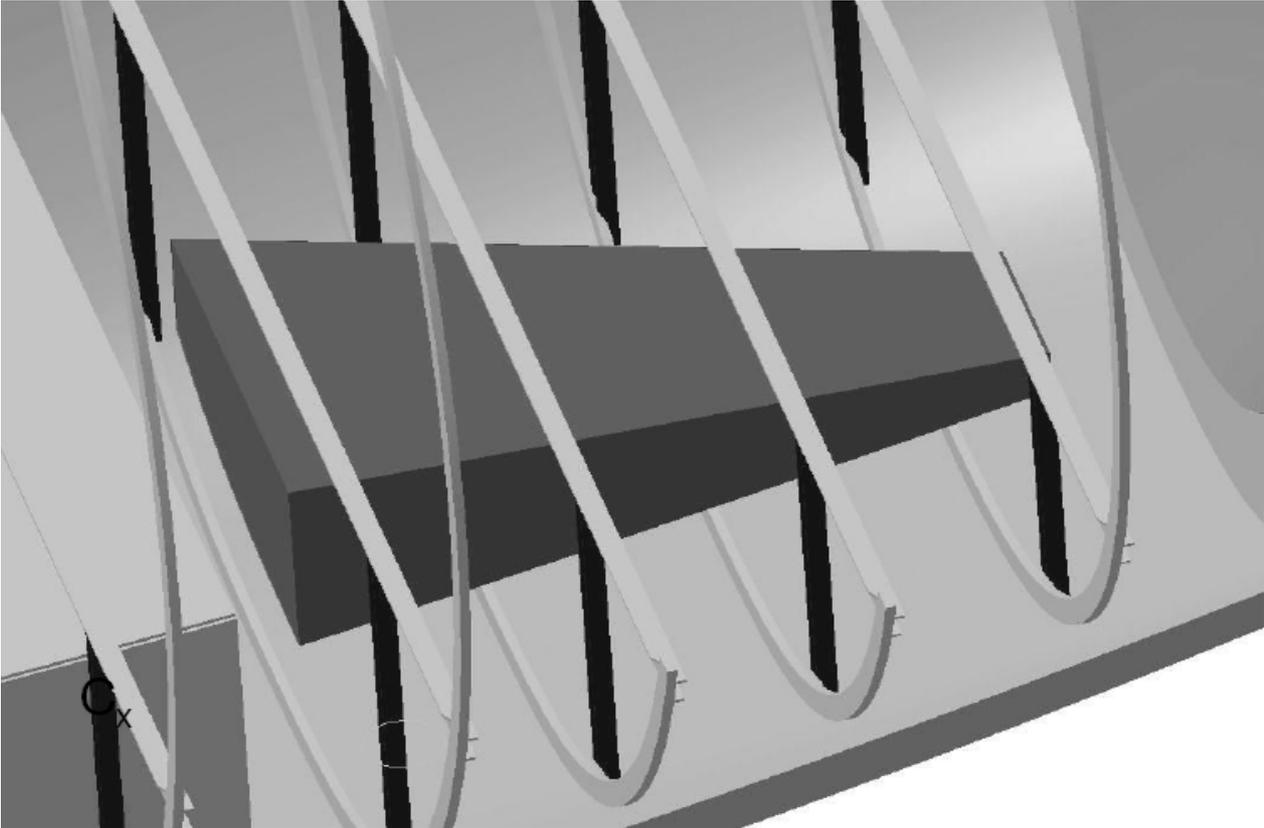


Abbildung 6.4-8: Alternativer Einbauraum „Airbus Design“

5.4.3. Bauweisenuntersuchung für konturnahe Abwassertanks

Im Sinne einer breiten Bauweisenuntersuchung wurden sieben Bauweisen als zunächst möglich ausgewählt und dann hinsichtlich der Vor- und Nachteile für den konformen Tank beurteilt.

- Ebene Sandwichplatten, verbunden mit Kantenprofilen:
 Industriell verfügbare Halbzeuge, hoher Einmalaufwand für Kanten-/Eckabschluss, Einschränkungen für Gestaltung und Dimensionierung
 → Detaillierung wurde durchgeführt, siehe Kapitel 5.4.4.1 und 5.4.4.2.
 Bezeichnung „**Plattentank**“.
- Sandwichwände mit Schaum- und/oder Wabenkern:
 Bekannte Technik, flexibel in Gestaltung, Herstellung und Dimensionierung
 → Detaillierung wurde durchgeführt, siehe Kapitel 5.4.4.3 und 5.4.4.4.
 Bezeichnung „**Sandwichtank**“.
- Geblasener/rotomold Thermoplasttank:
 Mindestdicke Liner 3mm, zusätzlich Stützstruktur erforderlich
 → kein Massen-/ Kostenvorteil erkennbar
 → keine Detaillierung erfolgt.

07.Juli 2010		84
--------------	--	----

- PE-Liner mit Composite-Belegung:
Mindestdicke Liner 2mm, zusätzlich Stützstruktur erforderlich, starke Einschränkungen bzgl. Gestaltung
→ kein Massen-/ Kostenvorteil erkennbar
→ keine Detaillierung erfolgt.
- Gewickelter Tank:
Schwerwiegende Einschränkungen bei Gestaltung, Herstellung und Dimensionierung
→ kein Massen-/ Kostenvorteil erkennbar
→ keine Detaillierung erfolgt.
- Bladder Tank in der Struktur eingezogen:
Zusätzliche Strukturkomponenten („Wände“) erforderlich, Reinigung-/ Entleerung ungeklärt
→ kein Massen-/ Kostenvorteil erkennbar
→ keine Detaillierung erfolgt.
- Tiefgezogene Blechtanks:
Aufwändige Gestaltung für Druckstabilität, hohe Einmal-/ Serienkosten für Werkzeuge und Herstellung
→ kein Massen-/ Kostenvorteil erkennbar
→ keine Detaillierung erfolgt.

Es wurden somit nur die ersten beiden Bauweisen, bezeichnet als „Sandwichtank“ und „Plattentank“, detailliert berechnet und konstruiert.

5.4.4. Auslegung und Vorkonstruktion eines Tankdesigns in zwei Bauweisen

5.4.4.1. Auslegungsrechnung „Plattentank“

Durch die Verwendung von ebenen Platten als Halbzeug für die Tankwände konnte der gekrümmte, kegelförmige Boden des Bauraumes nicht ausgenutzt werden. Hier wurde die Kontur durch zwei Platten angenähert wodurch sich ein Volumenverlust ergab.

Es wurde folgendes Schalenmodell für die FE-Berechnung erstellt.

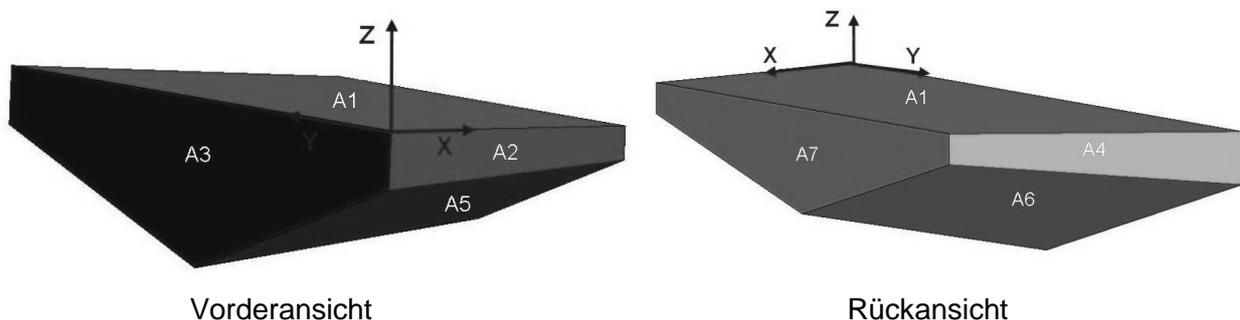


Abbildung 6.4-9: Schalenmodell „Plattentank“

Die Berechnung erfolgte wieder mittels ANSYS und ESAComp.

07.Juli 2010		85
--------------	--	----

Aufbau der Platten

Als Einzelschicht wurde eine unidirektionale Lage verwendet. Um das Halbzeug mit möglichst wenig Verschnitt einsetzen zu können wurde die Faserrichtung auf 0°/90° (parallel/ senkrecht zu den Längskanten) festgeschrieben.

Um ein gemeinsames Halbzeug für den ganzen Tank zu verwenden, wurde bei der Belegung nicht zwischen den einzelnen Tankwänden unterschieden. Dadurch wurde zwar etwas Mehrgewicht akzeptiert, der Kostenvorteil der industriellen Serienproduktion aber verstärkt.

Als Kernmaterial wurden sowohl Honigwaben als auch Schaum untersucht, wobei die Honigwaben die geringere Masse ergeben haben. Vor einer Verwendung müsste die Dichtigkeit der Innen- und Außenlagen geprüft werden, um ein Vollsaugen der Zellen mit anschließender Delamination bei Tieftemperaturen („Auffrieren“) ausschließen zu können.

Den Kern bildet eine Honigwabe HRP-3/16-12.0 der Dicke 12,7 mm.

Jede Decklage besteht aus 6 Lagen des UD-Prepregs mit einer Einzeldicke von 0,2 mm.

Es ergibt sich somit eine Gesamtdicke von 15,1 mm.

Durch die Reduzierung der homogenen Druckbeanspruchungen kommt den hydrostatischen Drücken aus den Linearbeschleunigungen eine zunehmende Bedeutung zu. Diese sind je nach Lastrichtung und Ort unterschiedlich. Dadurch mußten die Lastfälle separat bewertet werden.

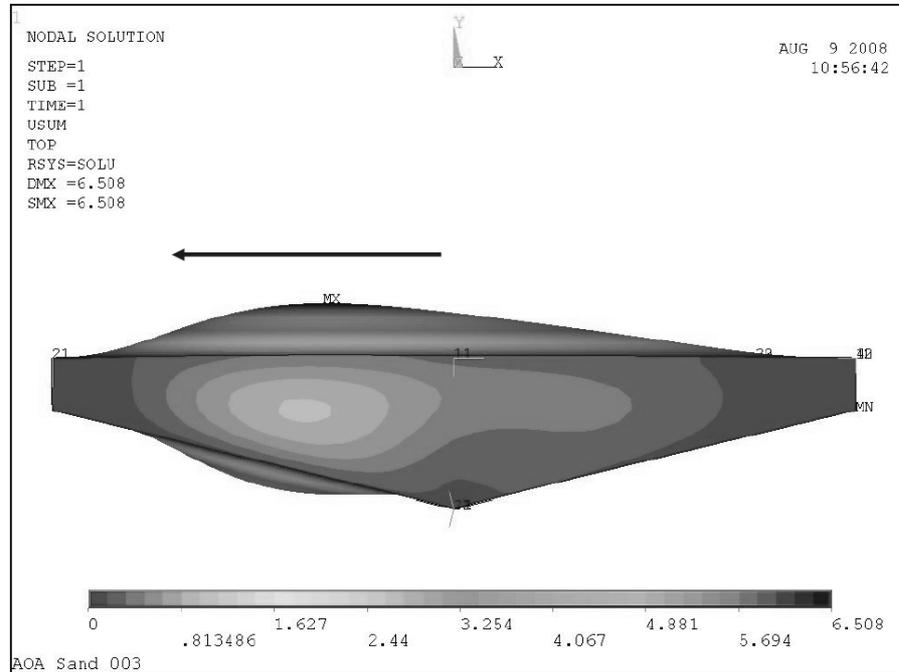


Abbildung 6.4-10: Verformung unter Seitenlast für Tank aus ebenen Sandwich-Platten

07.Juli 2010		86
--------------	--	----

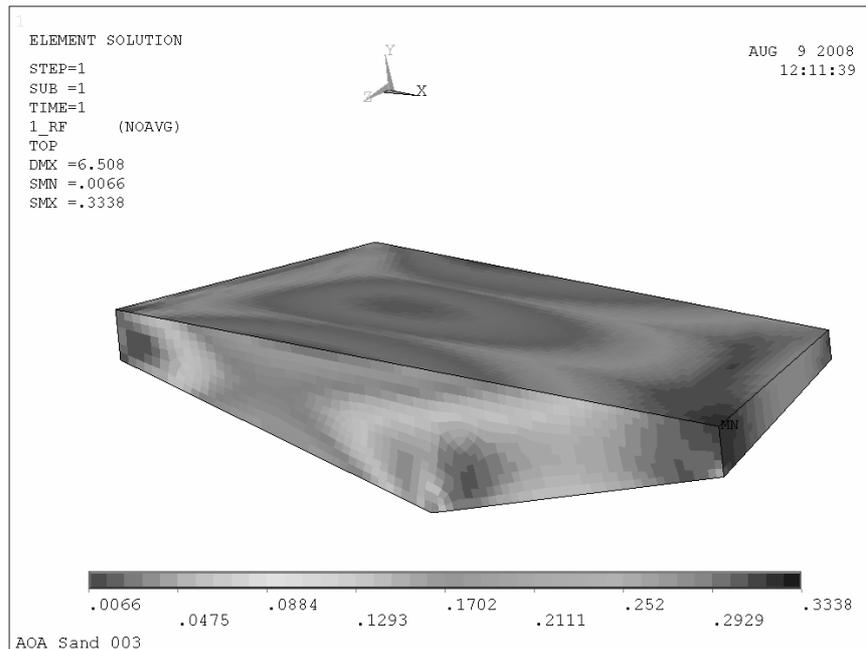


Abbildung 6.4-11: Inverser Reservefaktor unter Seitenlast für Tank aus ebenen Sandwich-Platten

Durch die Berechnung konnte gezeigt werden, dass der gewählte Aufbau den Belastungen standhält.

5.4.4.2. Recherche und Massenbilanz „Plattentank“

Es wurde eine umfangreiche Recherche zu folgenden am Markt verfügbaren Konstruktionselementen durchgeführt:

- Klebstoffe
- Sandwichplatten mit Wabenkern
- Sandwichplatten mit Schaumkern
- Plattenmaterial mit lokalen Verstärkungsprofilen
- Werkstoffe und Herstellverfahren für Kantenprofile und Eckverschlüsse

Es ist auch hier grundsätzlich möglich, Profile aus Epoxy bzw. Phenolharz mit Verstärkungsfasern herzustellen. So konnte zum Zeitpunkt der Recherche beispielweise die Firma Fibrolux Profile aus halogenfreien Polyesterharzen herstellen, welche mit Endlosfasern verstärkt werden können.

Mögliche Profilvarianten sind in **Abbildung** dargestellt. Diese Varianten müssen je nach Einbauort an den jeweiligen Plattenwinkel angepasst werden.

07.Juli 2010		87
--------------	--	----

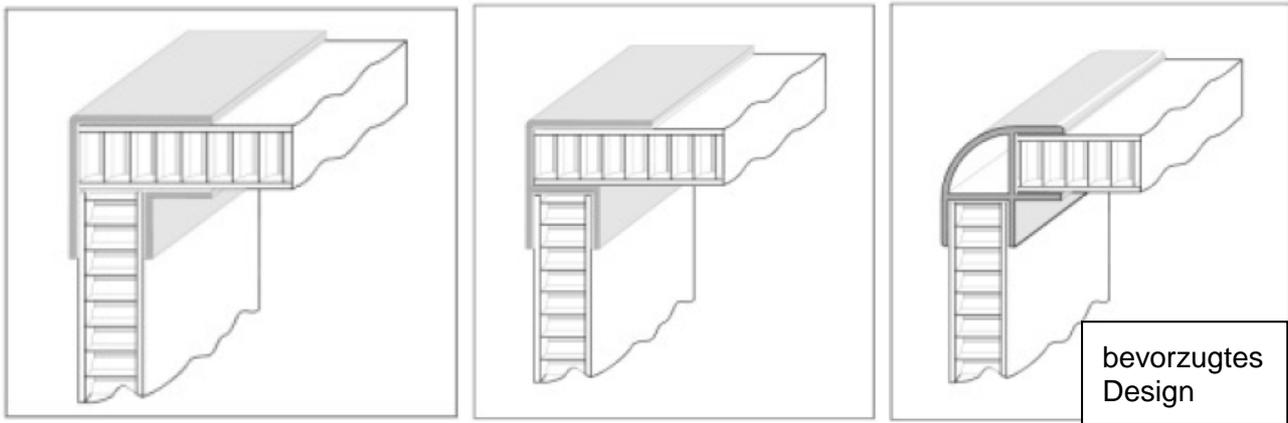


Abbildung 6.4-12: Mögliche Kantenprofile

Massenbilanz Tankkörper ohne Beschläge, Anschlüsse etc.

	Bezogene Masse	Bezugsmaß	Masse
Platten	6,16 kg/m ²	3,04 m ²	18,7 kg
Innenbeschichtung	0,75 kg/m ²	3,04 m ²	2,3 kg
Kantenprofile	0,145 kg/m	10,7 m	1,6 kg
Klebstoff	0,042 kg/m	10,7 m	0,5 kg
Eckverschlüsse	0,08 kg/Stück	10 Stück	0,8 kg
Gesamtmasse			23,9 kg

Tabelle 0.4-3: Massenbilanz Tankkörper „Plattentank“

5.4.4.3. Auslegungsrechnung „Sandwichtank“

Analog zur Auslegungsrechnung „Konformer Tank“ (vgl. Abschnitt 5.4.1.2) wurde für das sog. AOA-Design (vgl. **Abbildung**) eine Berechnung mit den angepassten Anforderungen durchgeführt.

Die Auswahl der Schichtdicken erfolgte wieder nach Werkstoffanstrengung. Durch die Reduzierung des Drucks könnte die Dicke der Belegung durchwegs halbiert und die Schaumdicke ebenfalls reduziert werden.

	Material	Oberseite Unterseite	Vorderseite Seitenwände	Rückseite
Dicke Kernmaterial [mm]	PEI-Schaum	30	20	15
Dicke jeder Sandwichhaut [mm]	CFK	2,4	2,4	2,4
Dicke im monolithischen Randbereich [mm]	CFK	4,8	4,8	4,8

Tabelle 0.4-4: Gewählte Schichtdicken („Sandwichtank“)

5.4.4.4. Vorkonstruktion „Sandwichtank AOA-Design“

Die ursprüngliche Bauraumgestaltung wurde soweit ausdetailliert und konstruktiv betrachtet, dass eine belastbare Massenermittlung möglich war.

Charakteristische Eigenschaften:

- Bauweise: Sandwichwände mit Schaumkern
- Maximaler Bauraum über dem Tank
- Tank als Modulträger für Zyklon(e), Vakuum Generator, etc. nutzbar
- Annähernd ganze Rumpfbreite zwischen Fußbodenträgern
- Ausdehnung über einen Spantabstand
- Im seitlichen Bereich geringe Bauhöhe -> uneffektive Gestaltung + „Dreckecken“
- Bruttovolumen 231l

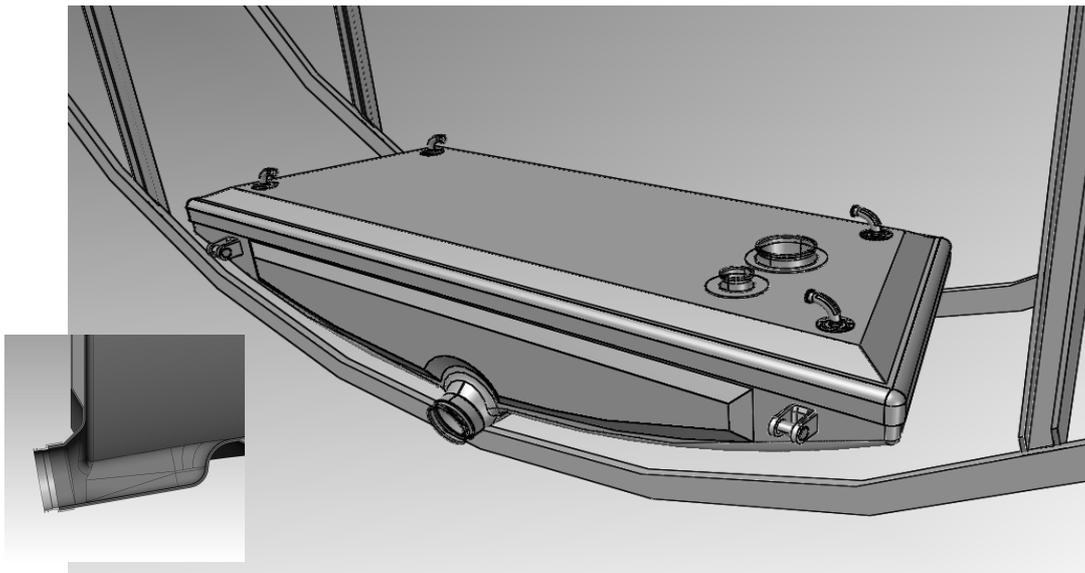


Abbildung 6.4-13: Sandwichtank „AOA-Design“

5.4.4.5. Konstruktion „Sandwichtank“ für Bauraum „Airbus-Design“

Relativ spät erfolgte seitens Airbus die Festlegung auf eine alternative Bauraumgestaltung, die zusätzlich, allerdings nur grob, betrachtet wurde. Die Masse dieser Variante wurde durch Skalierung von Daten aus dem „AOA-Design“ ermittelt.

Charakteristische Eigenschaften:

- Maximaler Bauraum neben dem Tank als Wartungszugang
- Tank als Modulträger für Zyklon(e), Vakuum Generator, Brennstoffzelle etc. teilweise nutzbar, ggf. über „Modulträger“ erweiterbar
- Tank einseitig angeordnet
- Ausdehnung über drei Spantabstände
- Im hinteren Bereich geringe Querschnittsfläche -> uneffektive Gestaltung, „Dreckecken“
- Bruttovolumen 237l

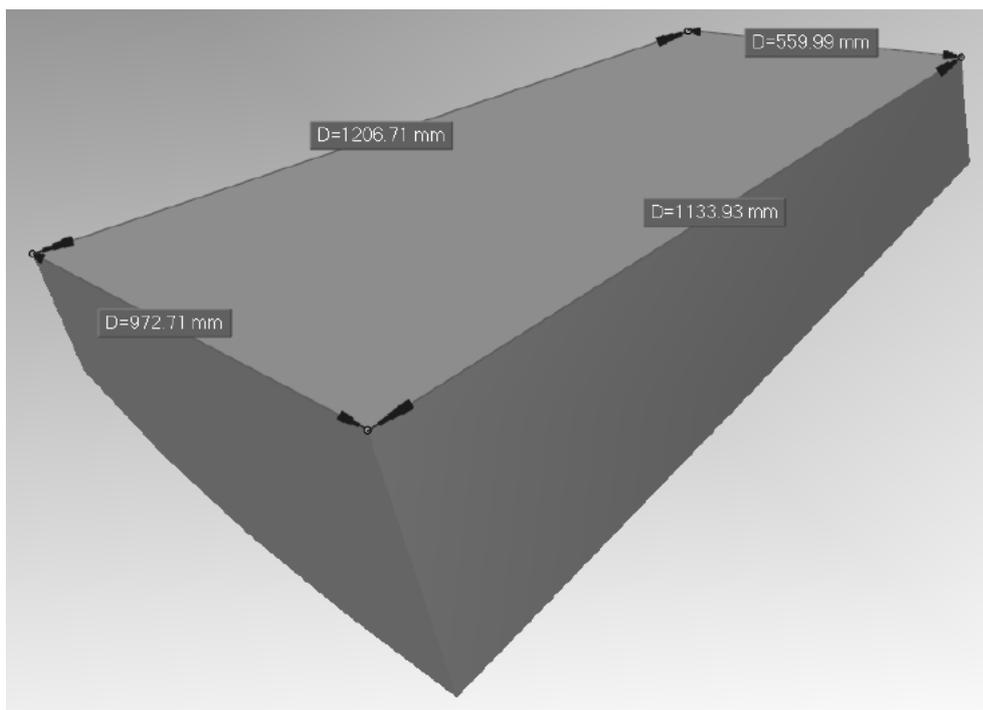


Abbildung 0.4-16: Sandwichtank „Airbus-Design“ (Hauptabmessungen)

07.Juli 2010		92
--------------	--	----

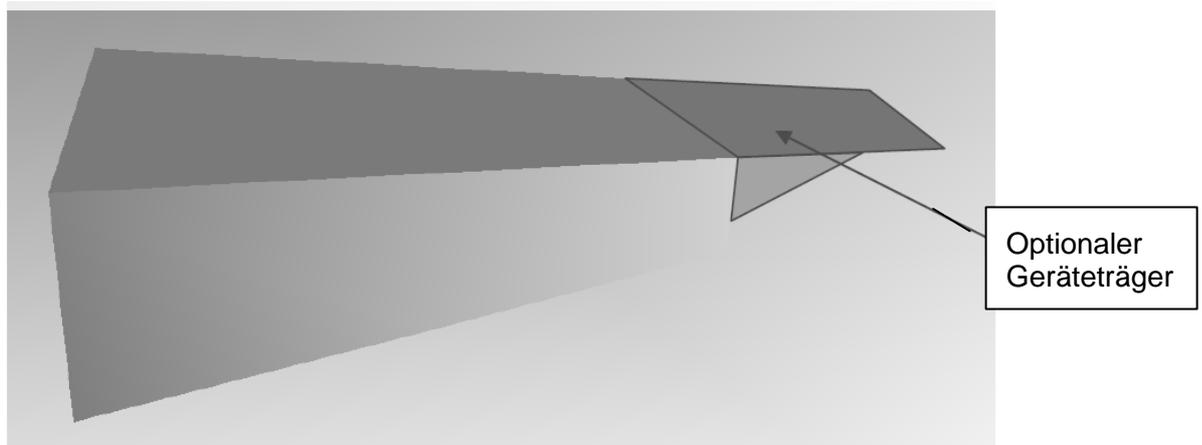


Abbildung 0.4-17: Sandwichtank „Airbus-Design“ (Geräteträger)

5.4.4.6. Massenvergleich

Die Tabellen 6.4-5 und 6.4-6 zeigen eine Gegenüberstellung der ermittelten Massen der beiden konformen Tankvarianten und (als Referenz) des in Abschnitt 5.4.1 untersuchten Drucktanks.

	„Concept1 AOA-Design“	„Concept2 Airbus-Design“	Drucktank
Oberfläche inkl. Steckverbindung	3,1m ²	3,0m ²	2,1m ²
Masse Tankschale	27,8kg	30,2kg	14,8kg
<i>Mittleres Flächengewicht</i>	<i>9,0kg/m²</i>	<i>10,1kg/m²</i>	<i>7,1kg/m²</i>
Masse Waste-in/-out Flansche	1,2kg	1,2kg	1,2kg
Masse Rinse System	1,2kg	1,2kg	0,6kg
Gesamtmasse	30,3kg	32,6kg	16,6kg
Zusatzmasse „Geräteträger“		2,9kg	

Tabelle 0.4-6: Massenvergleich „Sandwichtank“ und „Drucktank“

Fehlende Massen:

- Beschläge zur Tankaufhängung inkl. lokaler Verstärkungen, Klebstoffe etc.
- Separator/-ventil, Diffusor
- Füllstandsmessung, Controller
- Bonding, Rinse-Leitungen

5.4.5. Bewertung des Konzepts „Konturangepasster Abwassertank“

Zusammenfassend wurden durch die potentielle Einführung eines konturangepassten Tanks die folgenden Auswirkungen erkannt:

- Die auftretenden Tankdrücke sind gegenüber dem herkömmlichen Vakuum-Toilettensystem deutlich zu reduzieren. Dies erfordert zusätzliche Komponenten wie Separator-Ventil und Vortank welche die Komplexität des Waste Systems erhöhen.
- Das im Rumpfsegment verfügbare Volumen wird besser ausgenützt. Dadurch können weitere Geräte untergebracht werden.
- Der Tank ist als Modulträger benutzbar. Ggf. kann über zusätzlich angebaute Geräteträger die Fläche vergrößert werden.
- Über dem Tank entsteht ein maximaler Bauraum für den Separator. Dieser ist geometrisch weitgehend von den physikalischen Anforderungen bestimmt und muss oberhalb des Tanks angeordnet werden.
- Die Anbindung an die Flugzeugstruktur kann kompakt ausgeführt werden. Anstatt der Streben- oder Schalenlagerung des Drucktanks kann der konforme Tank wegen der geringen Abstände direkt an die Rumpfstruktur angeschlossen

07.Juli 2010		95
--------------	--	----

werden. Allerdings sind dabei die Lagerungsbedingungen zur Vermeidung von Zwangskräften zu beachten.

- Es wurde ein Mehrgewicht von ca. 15kg gegenüber dem Drucktank ermittelt. Durch weitere Optimierung ließe sich dieses evtl. auf 10kg reduzieren. Nicht enthalten sind allerdings die zusätzlichen Komponenten des Systems zur Reduzierung des Tankdrucks.
- Das Mehrgewicht der Tankstruktur wird durch die anderen Vorteile nicht aufgewogen.
- Kostenvorteile gegenüber dem gewickelten Drucktank sind in der Herstellung nicht erkennbar. Im Gegenteil muß durch die benötigten zusätzlichen Komponenten von einem höheren Systempreis ausgegangen werden.

Fazit:

Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde seitens Airbus im Rahmen eines TRL 4 -Reviews beschlossen, die Aktivitäten bezüglich des konformen Tanks nicht weiterzuführen.

Eine Detailkonstruktion und Demonstrator-Fertigung wurde daher auch von AOA nicht mehr weiter verfolgt.

In Absprache mit Airbus und dem Projektträger wurden alternativ die Untersuchungen zu Detailfragen der Tankbauweise fortgesetzt und intensiviert.

5.4.6. Alternative Werkstoffe für Tank-Sandwich

Für die Herstellung der konturangepassten Tanks wurde die Verwendbarkeit von Tankwänden in Schaumsandwich-Bauweise untersucht. In den bisherigen Produkten wird hier EP-Nasslaminat mit PEI-Schaum eingesetzt. Allerdings lassen sich in dieser Kombination die Fire-/Smoke-/Toxicity- (FST-) Anforderungen nur durch den Zusatz von Flammhemmern erreichen. Diese beeinträchtigen sowohl die Verarbeitbarkeit als auch das Bauteilgewicht.

Als alternative Lösung wurden Prepregs mit anderen, FST-optimierten Matrixsystemen analysiert. Erste Wahl sind hierbei Cyanatester-Prepregs, da diese sehr gute FST-Eigenschaften mit guten mechanischen Kennwerten kombinieren.

So wurde die Verträglichkeit eines Cyanatester-Prepreg (GURIT PN900-68-40) mit dem bisher verwendeten PEI-Schaum untersucht. Dieser war jedoch nicht beständig, sodass er bereits während der Aushärtung vom Matrixsystem angegriffen und teilweise zersetzt wurde. Es mussten also alternative Schaumwerkstoffe gefunden werden.

Relativ neu auf dem Markt ist ein PES-Schaum (Divinycell F50), der ebenfalls exzellente FST-Eigenschaften aufweist. Über die Verträglichkeit mit Cyanatester-Prepreg waren keine Herstellerangaben zu bekommen, sodass dies ebenfalls über Probelplatten untersucht werden musste. Parallel wurde hier auch ein Phenolharz-Prepeg (GURIT PHG600-68-37) einbezogen.

07.Juli 2010		96
--------------	--	----

In einem ersten Fertigungsversuch wurde mit einem Autoklavendruck von 3 bar gearbeitet. Hier kollabierte der Schaum mit beiden Prepreg-Systemen nahezu komplett. Ein zweiter Versuch wurde mit einem auf 1,8 bar reduzierten Druck durchgeführt.

Hierbei lag die Dicke des Sandwichpanels ebenfalls deutlich unter der erwarteten Solldicke (siehe folgende Tabelle).

Parameter	Cyanatester	Phenol
Solldicke	17mm	17mm
Dicke im Mittelbereich	9 – 12,2mm	13,3 – 14,2mm
Dicke im Randbereich	deutlich geringer	geringer
Schälbruch	kohäsiv + adhäsiv	kohäsiv

Tabelle 0.4-7: Sichtprüfung des Sandwichpanels

Aus der Dickenverteilung konnte geschlossen werden, dass neben einer begrenzten Druckfestigkeit bei beiden Systemen auch die chemische Beständigkeit nicht gegeben war. Während dies bei Cyanatester nicht überraschte, war es beim Phenol-System so nicht zu erwarten.

Letztlich konnten flüchtige Bestandteile (Lösemittel) in diesem speziellen Phenol-Prepreg als Ursache identifiziert werden. Mit anderen Typen könnte die Beständigkeit aber gegeben sein.

Weitere Untersuchungen wurden aufgrund der Einstellung der Aktivitäten zu konformen Tanks nicht mehr durchgeführt. AOA wird die angedachten Werkstoffänderungen weiter im Auge behalten.

5.4.7. Materialversuche zur Integration des Füllstandssensors in die Tankwand

5.4.7.1. Aufgabenstellung und Zielsetzung

Die Füllstandsmessung im Abwasserbereich erfolgt bevorzugt ohne Medienkontakt.

Hierzu wird über ein kapazitives Messsystem der Benetzungsanteil eines Tankausschnittes ermittelt und in einen Füllstand umgerechnet. Um die Benetzung zu detektieren, wird eine leitende Schicht („Sensor“) auf der medienzugewandten Seite in die Tankwand integriert. Zur Abschirmung äußerer Einflüsse wird dieser „Sensor“ nach außen von einer zweiten leitenden Schicht, dem sog. „Guard“, abgedeckt. Diese Schichten müssen elektrisch voneinander, vom Medium und von der ggf. leitenden Tankstruktur isoliert werden.

Für die Kalibrierung des Messsystems ist die Dielektrizitätskonstante der Materialien zwischen Medium und Sensor entscheidend. Diese wird jedoch üblicherweise z.B. durch Wasseraufnahme oder Temperatur verändert, wodurch sich die Tankkalibrierung verschiebt und aufwändig korrigiert werden muss. Die Stabilität der Dielektrizitätskonstante ist somit ein Entscheidungskriterium für die Auswahl des Liner- bzw. Beschichtungswerkstoffs.

Neben der Erfüllung der elektrischen Anforderungen müssen diese leitfähigen Schichten und die umgebenden Isolationsschichten mechanisch tragfähig untereinander und mit der Tankschale verbunden sein. Andernfalls sind größere Delaminationen auf Grund von Impact- und Drucklasten zu befürchten.

Bei bisherigen Tanks wurden die leitenden und nichtleitenden Schichten in der Tankfertigung einzeln aufgebracht und teilweise durch Zwischenhärtung verbunden. Dies ist sehr aufwändig und das Ergebnis ist nicht vorab prüfbar.

Ziel der Untersuchungen ist es ein höher integriertes „Sensor Pack“ zu entwerfen und zu testen, bei dem die leitenden und nichtleitenden Schichten vorab zu einem geschichteten Aufbau verbunden und geprüft werden und dann bei der Tankfertigung in einem Arbeitsgang eingelegt werden können.

5.4.7.2. Mechanische Festigkeit und Medienbeständigkeit - Kampagne 1

In der ersten Kampagne wurden folgende Probenaufbauten untersucht:

- Edelstahlgewebe mit Glasfasergewebeisolation (Referenz)
- Edelstahlgewebe mit Isolation durch PEI-Folien
- Edelstahlgewebe mit Isolation durch glasfaserkaschierte PI-Folie „Flexiso“
- Mehrschichtlaminat (Kupfer-Kapton) der Fa. Vaas
- Mehrschichtlaminat (Kupfer-Kapton) der Fa. Flextem

Die o.g. Aufbauten wurden entweder schichtweise (Aufbau 1 bis 3) oder in einem vorgefertigten Element (Aufbau 4 und 5) in ein vereinfachtes Wickelbauteil integriert, elektrisch geprüft und daraus Stirnzug- und Schälproben geschnitten. Die Proben wurden unter folgenden Bedingungen und Konditionierungen geprüft:

- RT
Prüfung bei Raumtemperatur
keine Konditionierung
- 70°/trocken
Prüfung bei +70°C
keine Konditionierung
- HW1
Prüfung bei +70°C
Proben bei +50°C für 7 Wochen in Wasser gelagert
- HW3
Prüfung bei +70°C
Proben bei +50°C für 13 Wochen in Wasser gelagert
- 70°/Essig
Prüfung bei +70°C
Proben bei +50°C für 7 Wochen in verdünntem Essig gelagert

Die im Stirnzugversuch erzielten Ergebnisse sind in Abbildung zusammengefasst.

07.Juli 2010		98
--------------	--	----

Die fehlenden Proben wurden wegen der schlechten Ausgangswerte bei RT nicht geprüft.

Die parallel durchgeführten Schälversuche bestätigten die im Stirnzugversuch ermittelten Ergebnisse.

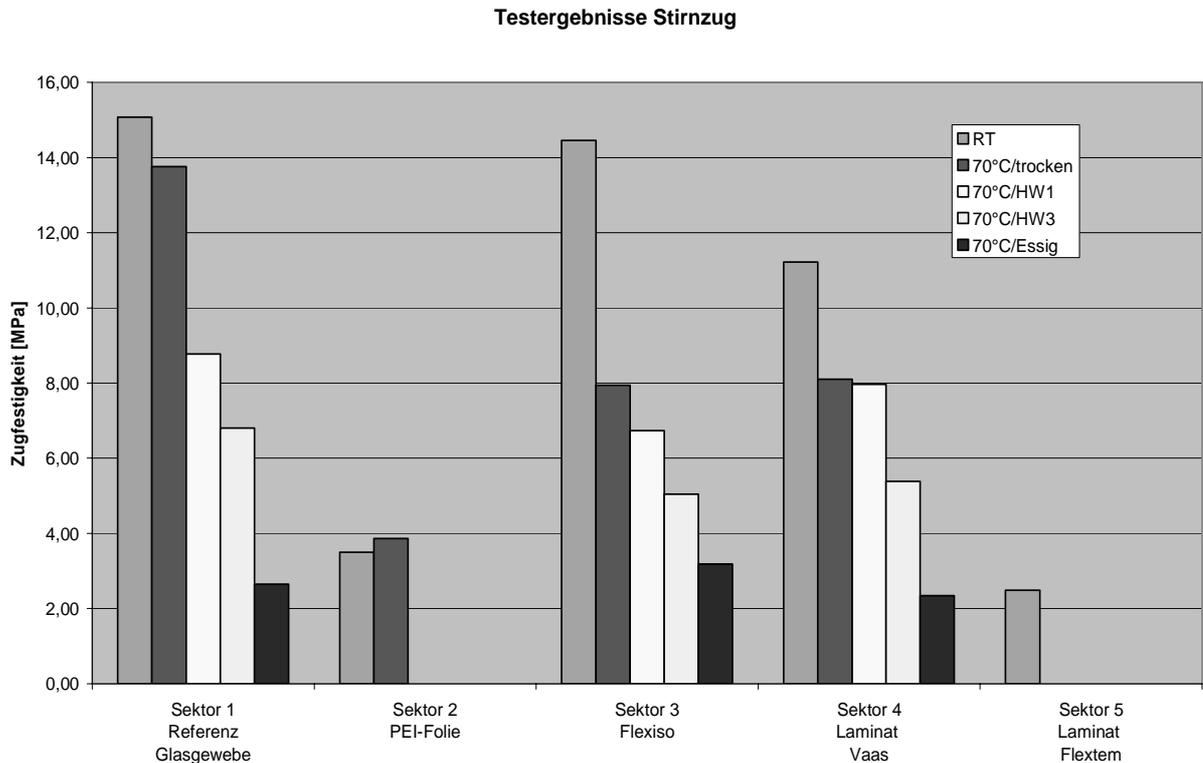


Abbildung 6.4-18: Ergebnisse des Stirnzugversuchs verschiedener Aufbauten (Kampagne 1)

Ergebnisse der Kampagne 1:

- Die Anbindung der Isolationsschichten an das Laminat über das mit Glasfasergewebe kaschierte „Flexiso“ liegt nahe an der Referenz und ist (trotz des Abfalls durch die Konditionierung) ausreichend.
- Die Anbindung an die PEI-Folie war nicht ausreichend.
- Beim Mehrschichtlaminat der Fa. Flextem war durch Lufteinschlüsse zwischen den Schichten die interne Festigkeit so weit reduziert, dass nur sehr geringe Werte erreicht wurden.
- Beim Mehrschichtlaminat der Fa. Vaas, war die interne Festigkeit höher als die Anbindung an das Laminat und somit ausreichend. Dieser Aufbau ist somit für die Sensoren in einem konformen Tank prinzipiell geeignet. Allerdings war die Steifigkeit der Sensoren so hoch, dass eine Verwendung in gekrümmten

Flächen („Drucktank“) erschwert wird. Um die (ebenen) Platten zu krümmen, waren zu hohe Kräfte erforderlich.

Fazit:

Die Verwendbarkeit von Isolationslagen aus „Flexiso“ konnte bestätigt werden, was schon eine Verbesserung zum bisherigen Vorgehen bedeuten würde. Allerdings ist dabei kein höherer Integrationsgrad und keine elektrische Vorab-Prüfung zu erreichen.

Grundsätzlich konnte das Prinzip der vorkonfektionierten „Sensor Packs“ bestätigt werden. Für die weiteren Untersuchungen wurde daher den „Sensor Packs“ der Vorzug gegeben.

Der von den beiden Firmen gewählte Aufbau erwies sich als nicht bzw. bedingt geeignet. Verbesserungen waren mit den dort verfügbaren Mitteln nicht zu erwarten. Daher wurden in einer zweiten Kampagne veränderte Aufbauten von zwei anderen Firmen untersucht.

5.4.7.3. Mechanische Festigkeit und Medienbeständigkeit - Kampagne 2

In der zweiten Kampagne wurden folgende Probenaufbauten untersucht:

- Kohlefasergewebe-Laminat ohne Sensor (Referenz)
- Kohlefasergewebe mit Mehrschichtlaminat (Edelstahl – Kapton) der Fa. RICA mit äußerer Klebeschicht (Kurzzeichen R-A)
- Kohlefasergewebe mit Mehrschichtlaminat (Edelstahl – Kapton) der Fa. RICA mit äußerer Glasfaserschicht (Kurzzeichen R-G)
- Kohlefasergewebe mit Mehrschichtlaminat (Kupfer – Kapton) der Fa. MINCO mit äußerer Klebeschicht (Kurzzeichen M-A)
- Kohlefasergewebe mit Mehrschichtlaminat (Kupfer – Kapton) der Fa. MINCO mit äußerem Glasfaserprepreg (Kurzzeichen M-G)

Aus diesen Aufbauten wurden im Handlaminierverfahren Probeplatten und daraus Stirnzugproben angefertigt. Die Proben wurden unter folgenden Bedingungen und Konditionierungen geprüft:

- RT
Prüfung bei Raumtemperatur
keine Konditionierung
- 70°/trocken
Prüfung bei +70°C
keine Konditionierung
- HW1
Prüfung bei +70°C
Proben bei +50°C für 30 Tage in Wasser gelagert
- HW3
Prüfung bei +70°C
Proben bei +50°C für 84 Tage in Wasser gelagert
- Essig
Prüfung bei Raumtemperatur
Proben bei +50°C für 30 Tage in verdünntem Essig gelagert

07.Juli 2010		100
--------------	--	-----

- Honeybee
Prüfung bei Raumtemperatur
Proben bei +50°C für 30 Tage in verdünntem Honeybee 60 gelagert
Dieses Medium wird zur Entkalkung und Reinigung des Abwassersystems verwendet.
- Urbaktol
Prüfung bei Raumtemperatur
Proben bei +50°C für 30 Tage in verdünntem Urbaktol gelagert
Dieses Medium wird zur Entkeimung des Abwassers im Tank verwendet („Precharge“).

Die Sensor Packs der Fa. RICA zeigten eine auffällige Unbeständigkeit gegen Honeybee 60. Hierbei haben sich die Proben bereits in der Konditionierphase abgelöst, sodass ein Test nicht mehr möglich war.

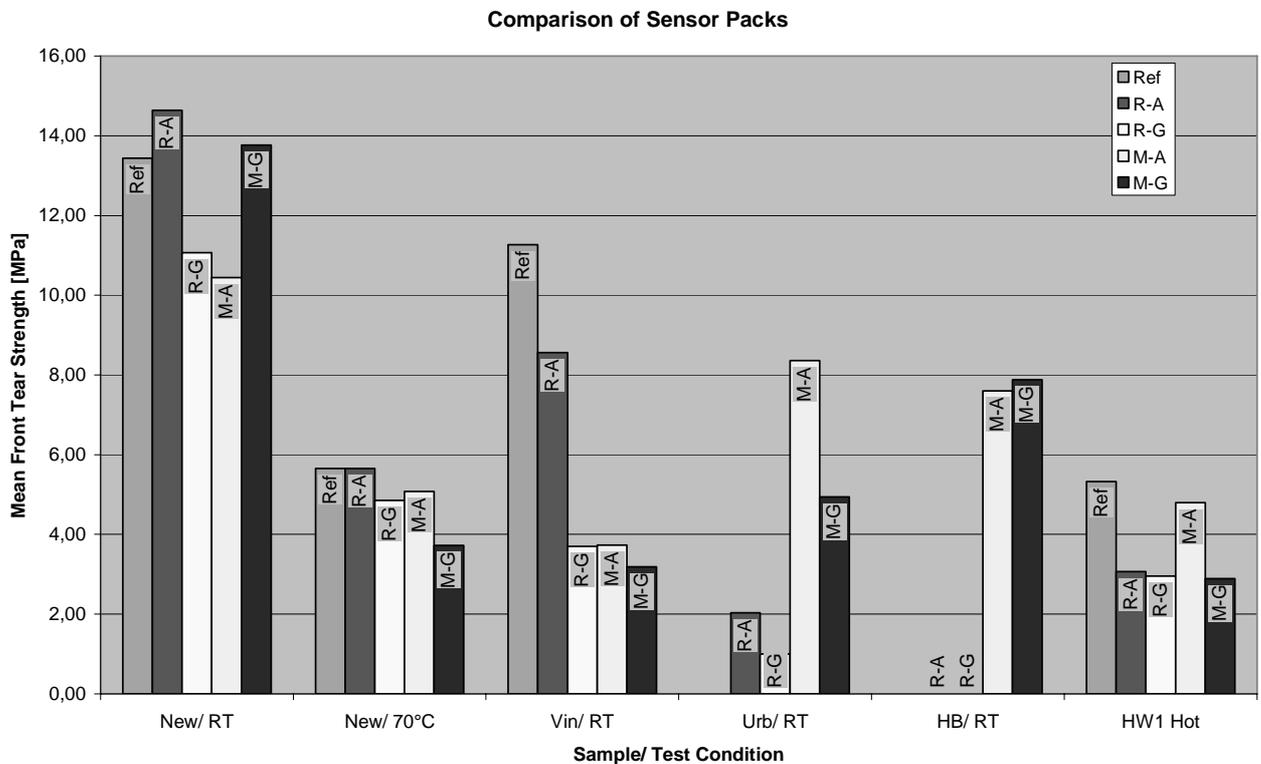


Abbildung 6.4-19: Ergebnisse des Stirnzugversuchs verschiedener Aufbauten (Kampagne 2)

Ergebnisse der Kampagne 2:

- Die Steifigkeiten der Sensor Packs waren auch für gekrümmte Anwendungen geeignet.

- Das Versagen der Proben lag nur teilweise in den Schichten der Sensor Packs bzw. in deren Anbindung an das Laminat. Häufig lag die Versagensschicht auch innerhalb des ungestörten Laminats.
- Die interne Festigkeit und die Anbindung an das Laminat bei unkonditionierten Proben war bei RT- und 70°C-Prüfung aller Varianten gleichwertig.
- Die Untersuchung der Unbeständigkeit gegen Honeybee ergab eine prozessbedingte Schwächung der Anbindung an die Edelstahlfolie. Laut Herstelleraussage lässt sich dies bei anderer Prozessführung vermeiden.
- Trotz deutlicher Festigkeitsabfälle der konditionierten Proben liegen diese im Bereich der ungestörten Laminatwerte und sind somit akzeptabel.

Fazit:

Ein Lieferant muss durch veränderte Prozessparameter eine bessere interne Anbindung erzielen. Dies wäre gegebenenfalls durch eine Wiederholung der Testkampagne nachzuweisen.

Die „Sensor Packs“ des zweiten Lieferanten weisen in beiden Varianten sowohl eine ausreichende interne Festigkeit als auch eine gute Anbindung an das umgebende Laminat auf. Dieses Design kann für weitere Entwicklungen direkt verwendet werden.

5.4.7.4. Langzeitstabile Kalibrierung

Durch Wasseraufnahme Temperaturänderung variieren die dielektrischen Eigenschaften des bisherigen Linermaterials (Permacor). Dadurch entfernt sich die reale Kalibrierkurve von der ursprünglich gemessenen („Drift“). Da im Flugzeug nicht nachkalibriert werden kann, muss dieser Effekt entweder vermieden oder anderweitig kompensiert werden. In einer ersten Kampagne soll die Drift für verschiedene Innenschichten bestimmt werden.

Um nicht für jede Variante einen separaten Tank bauen zu müssen, wurden ebene Probekörper gebaut.

Probe #1	Probe #2	Probe #3	Probe #4
2x Permacor 128/P	2x Permacor 128/P		
	Flexiso (Kapton mit beidseitigem Glasgewebe)	Flexiso (Kapton mit beidseitigem Glasgewebe)	
			Kapton
Sensor-Mesh (Edelstahlgewebe)	Sensor-Mesh (Edelstahlgewebe)	Sensor-Mesh (Edelstahlgewebe)	Sensor-Mesh (Edelstahlgewebe)
Flexiso (Kapton mit beidseitigem Glasgewebe)			
Guard-Mesh (Edelstahlgewebe)	Guard-Mesh (Edelstahlgewebe)	Guard-Mesh (Edelstahlgewebe)	Guard-Mesh (Edelstahlgewebe)
4x GfK (92125)	4x GfK (92125)	4x GfK (92125)	4x GfK (92125)

Tabelle 0.4-8: Aufbau der vier verschiedenen Probepplatten (von innen nach außen)

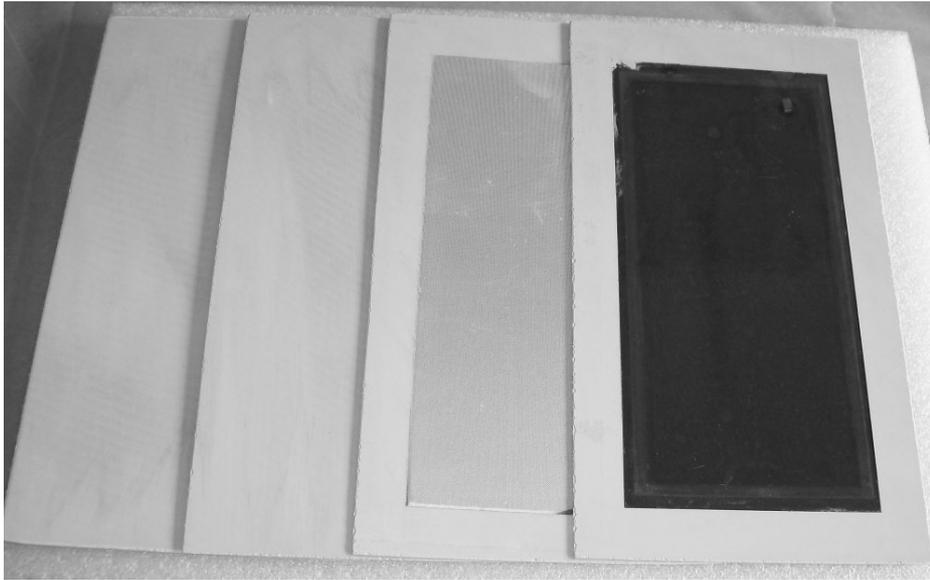


Abbildung 0.4-20: Proben #1 bis #4 (von links nach rechts) von der benetzten Seite gesehen

Vor Beginn der Konditionierung wurde die Temperaturabhängigkeit der trockenen Platten bestimmt.

Sensor zu Platte (Abweichung zu +2°C)

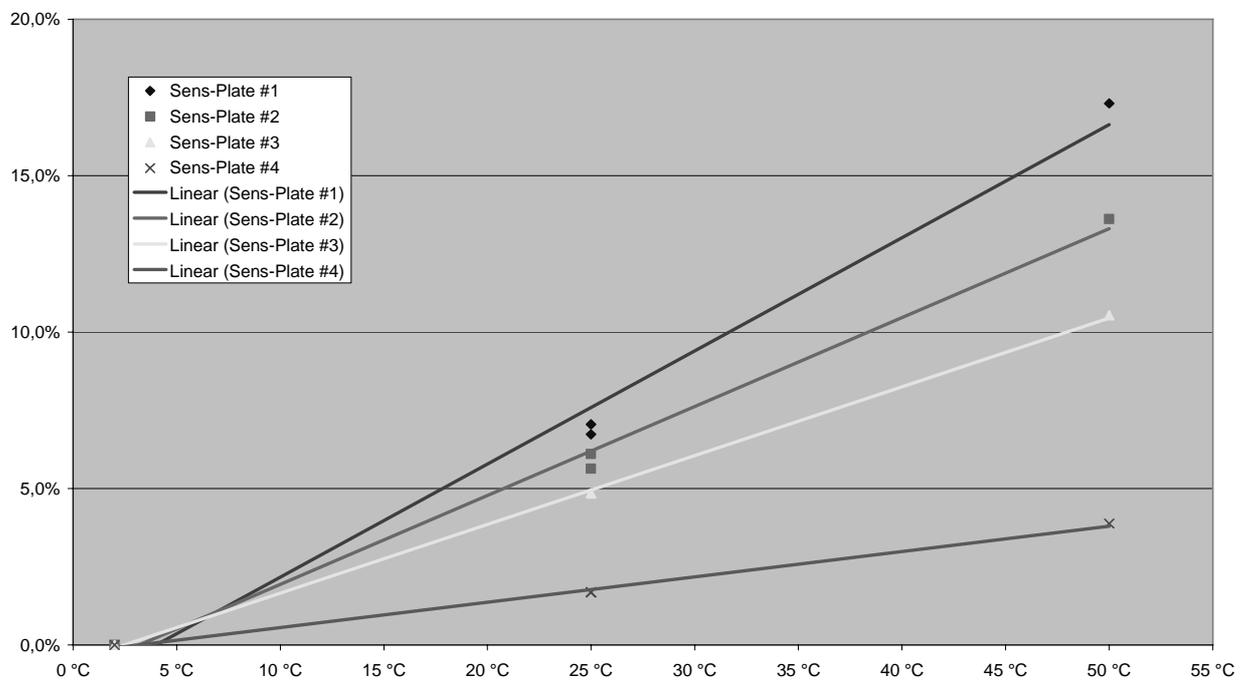


Abbildung 0.4-21: Temperaturdrift der Proben zwischen +2°C (Referenz) und +50°C

Zu Messung der Drift durch Feuchtaufnahme wurde ein Konditionierbehälter gebaut, der mit Wasser gefüllt und bei erhöhter Temperatur gelagert wurde (Abbildung 6.4-22). In bestimmten Abständen wurde die Kalibrierkurve bestimmt und mit der Ursprungskalibrierung verglichen. Die relative Abweichung ist in Abbildung 6.4-23 dargestellt

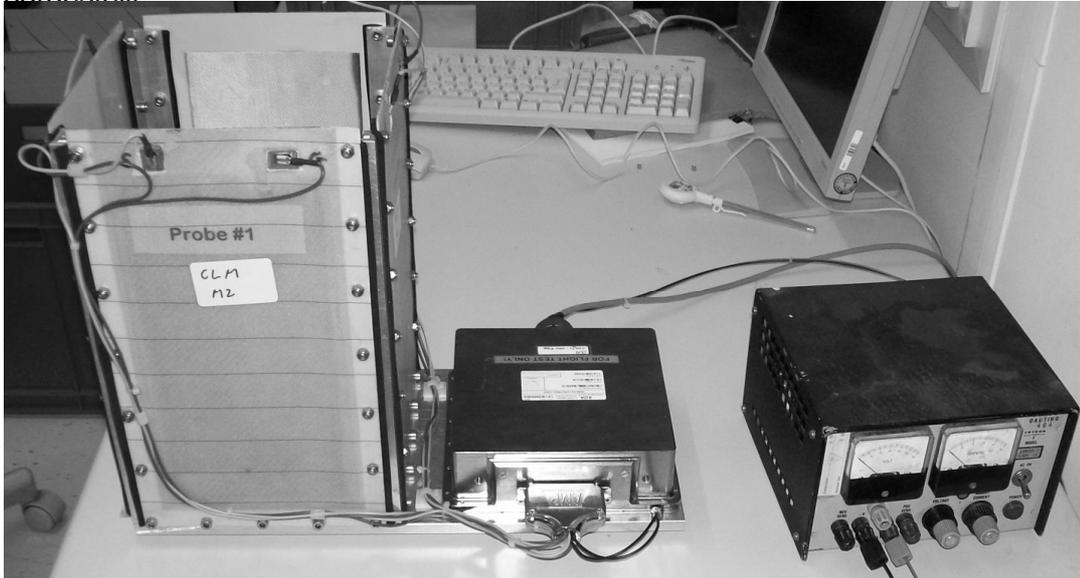


Abbildung 0.4-22: Messaufbau mit Konditionierbehälter, Controller und Spannungsversorgung

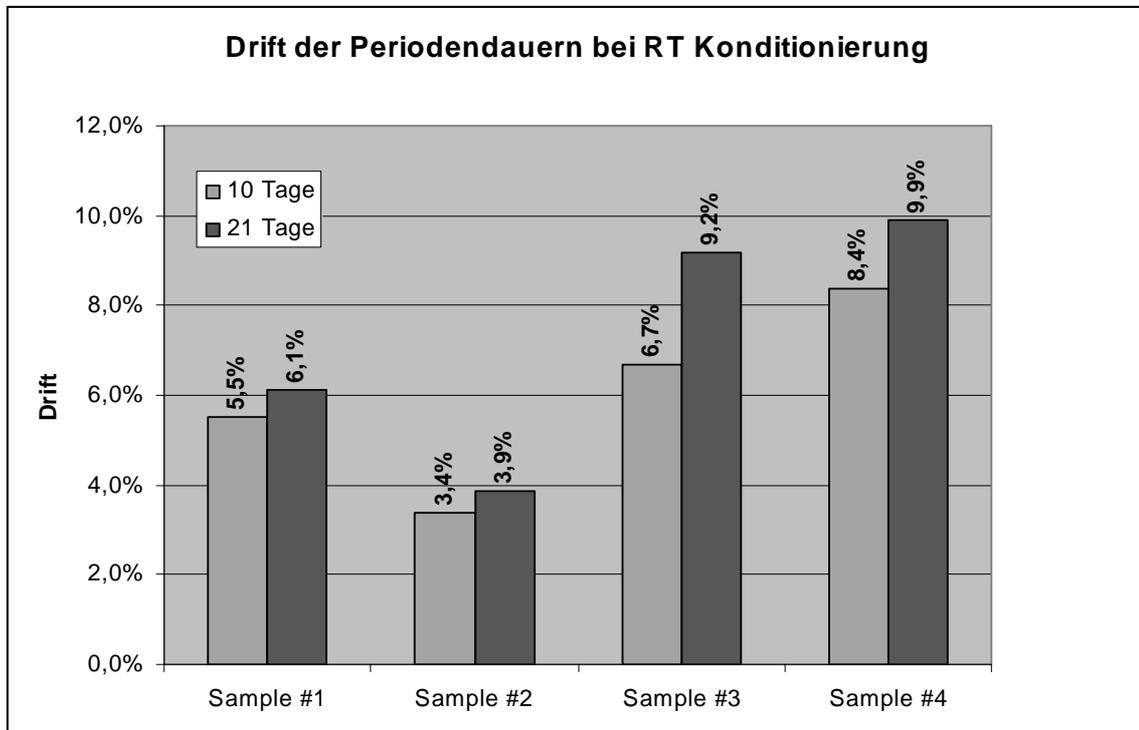


Abbildung 0.4-23: Drift der Kalibrierung nach unterschiedlich langer RT-Konditionierung für die 4 Proben

Ergebnisse dieser Kampagne:

- Zwischen +2° und +50°C driftet die Dielektrizitätskonstante zwischen 4% und 17%.
- Insbesondere die Proben mit EP-Matrix als Innenschicht (#1 bis #3) weisen eine hohe Temperaturabhängigkeit auf.
- Die Abhängigkeit ist weitgehend linear mit der Temperatur.
- Die Drift aus Feuchtaufnahme liegt zwischen 4% und 10%, wobei die geringste Abweichung bei der Probe mit eingelegter PI-Folie als „Dampfsperre“ erreicht wurde.
- Sowohl Temperatur- als auch Feuchtedriften der Kalibrierung liegen für alle Proben deutlich über der gewünschten Messgenauigkeit (2% bei Trinkwasser und 5% bei Abwasser).

Fazit:

Die Fehler müssen aktiv, d.h. über ein Korrektursignal kompensiert werden. Hierfür müssen Temperatur und Feuchtaufnahme separat gemessen und in der Auswertesoftware eingerechnet werden. Bei Verwendung einer Innenbeschichtung mit den hier untersuchten Varianten ist dieser Aufwand nicht zu vermeiden. Damit erfüllen alle o.g. Beschichtungen die in sie gesetzten Erwartungen nicht.

In einer weiteren Kampagne wurden daher alternative Beschichtungen bezüglich ihres Drift-Verhaltens untersucht.

5.4.8. Innenbeschichtung des Abwassertanks mittels thermisch Spritzen

Alternativ zu den o.g. EP-Coats wurden verschiedene, mittels thermisch Spritzen abgeschiedene Innenbeschichtungen untersucht.

Die Applikation muss auf Faserverbundwerkstoffen erfolgen, wobei eine Substrattemperatur von mehr als 120°C vermieden werden muss.

Diese Arbeiten erfolgten in Zusammenarbeit mit der Abteilung „Oberflächentechnik“ bei EADS-IW, die dort erzielten Ergebnisse werden in deren Abschlussbericht "KABTEK Untersuchungen an neuen Oberflächen Beschichtungen" dargestellt.

5.4.8.1. Mögliche Beschichtungsmaterialien für Flammsspritzen

Im Rahmen einer Recherche wurden mögliche Werkstoffe identifiziert und deren Verfügbarkeit untersucht und bewertet.

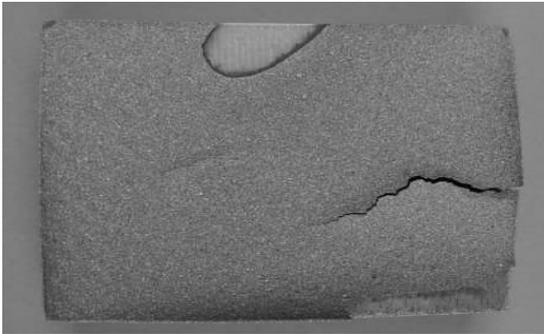
Zur Unterstützung dieser Bewertung führte EADS-IW Vorversuche mit verschiedenen Materialklassen durch, AOA stellte hierzu Probenmaterial bei, welches repräsentativ für die aktuelle Fertigungstechnik sowohl bzgl. konturangepasster wie auch zylindrischer Tanks ist.

Wesentliche Eigenschaft ist hierbei die Verwendung von bei Raumtemperatur anhärtenden Epoxydharzen mit Nachhärtetemperaturen von 80°C in Kombination mit Glasfaser- und/ oder Kohlenstofffaserlaminat. Hierdurch wird die maximale Substrattemperatur während der Beschichtung begrenzt.

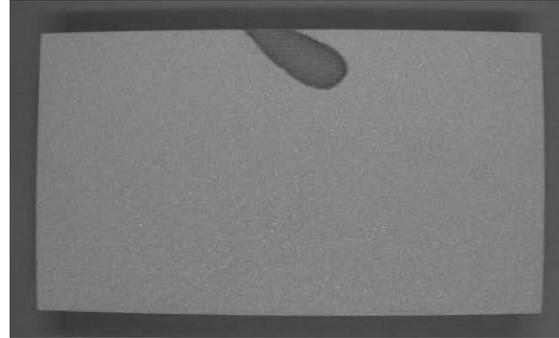
07.Juli 2010		105
--------------	--	-----

Diese Proben wurden mit verschiedenen Klassen von Materialien beschichtet und das Ergebnis visuell bewertet.

- Metallische Schichten (im Lichtbogen-Verfahren)



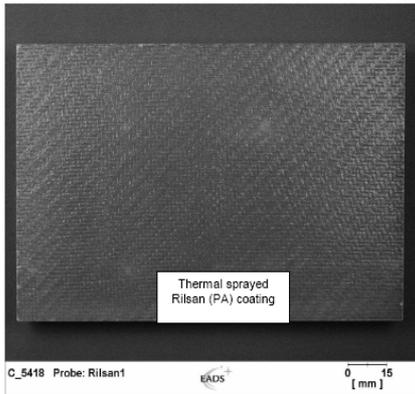
Zink/ Stahl Schicht
--> unzureichende Haftung



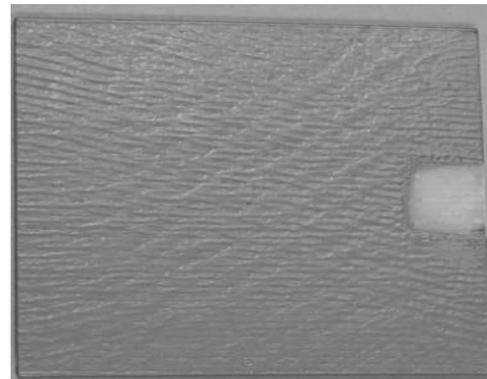
Reine Zink Schicht
--> gute Haftung

Abbildung 0.4-24: Metallische Schichten

- Thermoplastische Schichten (Schmelzen in Gasflamme)



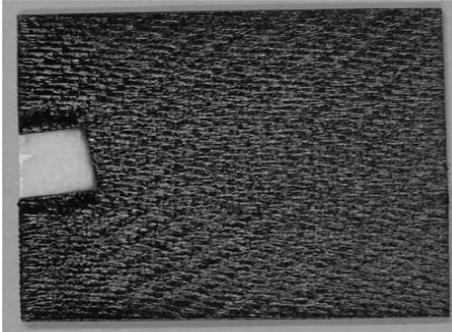
Polyamid (PA11 bzw. PA12, Rilsan®)
--> gute Haftung



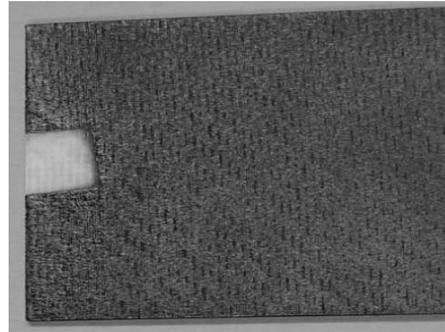
Polyoxymethylen (POM) + Siliciumcarbid (SiC)
--> gute Haftung

Abbildung 0.4-25: Thermoplastische Schichten

- EP-Einbrennlacke



Pulverlack HNG 13R ohne Zusatz



Pulverlack HNG 13R mit Zusatz von 20% PTFE (Moldflon ®)

Abbildung 0.4-26: EP-Einbrennlack

- Folienbeschichtung mit PTFE

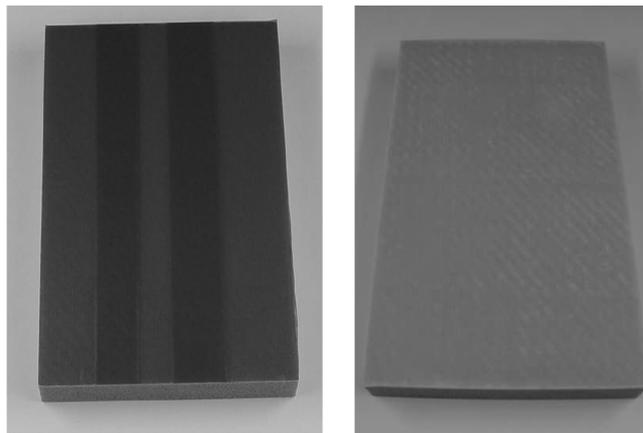


Abbildung 0.4-27: Folienbeschichtung

Die Ergebnisse der Recherche und der Vorversuche sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Beschichtungsmaterial	Verfügbarkeit	Entscheidung zur Machbarkeit
PA (RILSAN) ohne Beimischung	Standardware	Baseline-Lösung
PA (RILSAN) mit PTFE-(Moldflon) Beimischung	Standardware, Mischung vor Ort	Option
PA (RILSAN) mit Hartstoff-Beimischung	Standardware, Mischung vor Ort	Option
POM ohne/ mit SiC	nur Versuchspulver, keine Standardware	scheidet aus

Beschichtungsmaterial	Verfügbarkeit	Entscheidung zur Machbarkeit
Polyethylen PE	kein geeignetes Pulver verfügbar, Spezialanfertigung	scheidet aus
PPS ohne/ mit SiC	Substrattemperatur >250°C, zu hoch	scheidet aus
ABS	kein Pulver verfügbar, Spezialanfertigung	scheidet aus
PET	kein Pulver verfügbar, Spezialanfertigung	scheidet aus
Polycarbonat PC	kein Pulver verfügbar, Spezialanfertigung	scheidet aus
PTFE-Folien	Kritische Klebstoffauswahl bzgl. Härte- und Einsatztemperatur, keine Erfahrung	scheidet aus

Tabelle 0.4-9: Beschichtungsmaterialien

Auf Grund dieser Bewertung wurde als Grundmaterial für die weiteren Beschichtungen ausschließlich Polyamid verfolgt. Alle anderen Materialien sind nur mit hohem Aufwand und langer Lieferzeit verfügbar, da sie speziell bei Tieftemperatur aus Granulat gemahlen werden müssen. Außerdem ist deren Verarbeitbarkeit auf dem Probenmaterial noch völlig ungeklärt.

5.4.8.2. Beschichtung mit Polyamid

Das gewählte Polyamid mit dem Handelsnamen RILSAN ® ist standardmäßig als Pulver verfügbar. Die hier verwendete PA-Variante zeichnet sich durch geringe Wasseraufnahme und hohe Medienbeständigkeit aus. Bauelemente im Trinkwasserbereich wurden ebenfalls schon hergestellt, sodass auch in diesem Bereich die Verwendbarkeit zu erwarten ist.

Zur Verbesserung der Anhaftungsneigung und Verschleißfestigkeit im Abwasserbereich können Füllstoffe aus PTFE (Moldflon ®), SiC oder Al₂O₃ eingebettet werden.

Es wurden folgende Beschichtungsvarianten für eine nähere Untersuchung ausgewählt:

Typ	Anwendung	Besch.-Material	Dicke
Beschichtung 1	Trinkwasser ohne mech. Beanspruchung	RILSAN	100 µm
Beschichtung 2	Trinkwasser ohne mech. Beanspruchung	RILSAN	200 µm
Beschichtung 3	Abwasser für geringe Anhaftung	RILSAN + Moldflon 70/30	100 µm
Beschichtung 4	Abwasser für geringe Anhaftung	RILSAN + Moldflon 70/30	200 µm
Beschichtung 5	Abwasser für Verschleißbereiche	RILSAN + SiC 50/50	200 µm
Beschichtung 6	Abwasser für Verschleißbereiche	RILSAN + Al ₂ O ₃ 50/50	200 µm

Tabelle 0.4-10: Gewählte Beschichtungsvarianten Polyamid

Neben Verschleiß- („Taber-Test“) und Impakt-Tests sollen besonders die Wasseraufnahme und die damit einhergehende Änderung der elektrischen Eigenschaften untersucht werden. Letzteres führt zu einer Veränderung der Tankkalibrierung des kapazitiven Füllstandsmesssystems und somit zur sog. „Sensor-Drift“ (vgl. Abschnitt 5.4.7.4).

Es wurden Probenplatten mit integrierten Sensor-/ Guard-Schichten und entsprechenden elektrischen Isolatoren und Kontakten hergestellt.

Hierbei wurden drei verschiedene Aufbauten realisiert:

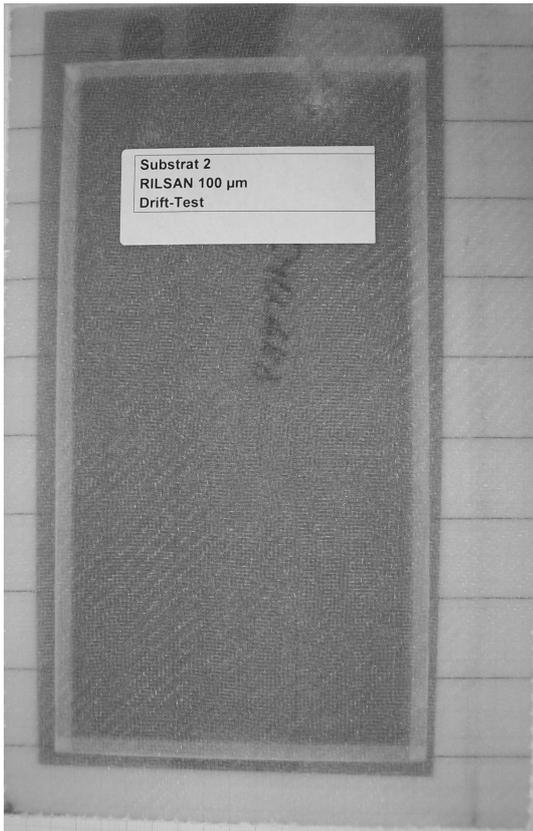
Substrat1 (Aufbau von außen nach innen)	Substrat2 (Aufbau von außen nach innen)
4x GfK (92125)	4x GfK (92125)
Guard-Mesh (Edelstahlgewebe)	Guard-Mesh (Edelstahlgewebe)
Flexiso (Kapton mit beidseitigem Glasgewebe)	Flexiso (Kapton mit beidseitigem Glasgewebe)
Sensor-Mesh (Edelstahlgewebe)	Sensor-Mesh (Edelstahlgewebe)
1x GfK (92125)	
Abreißgewebe (vor Beschichtung entfernt)	Abreißgewebe (vor Beschichtung entfernt)

Baseline-Version,
kompletter Probensatz

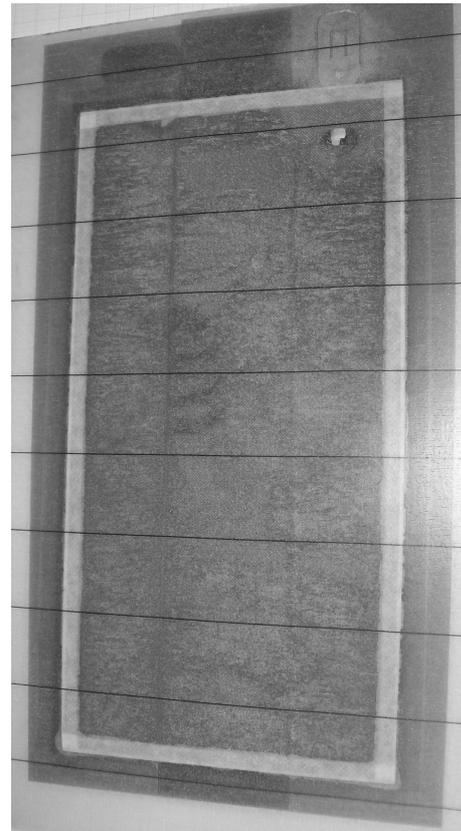
Optionale Version (ohne GfK unter der
Beschichtung), reduzierter Probensatz

Substrat3 (Aufbau von außen nach innen)
4x GfK (92125)
Guard-Mesh (Edelstahlgewebe)
Flexiso (Kapton mit beidseitigem Glasgewebe)
Sensor-Mesh (Edelstahlgewebe)
Kapton (beschichtet)

Versuchsversion (Beschichtung direkt auf Kapton), nur eine Einzelprobe

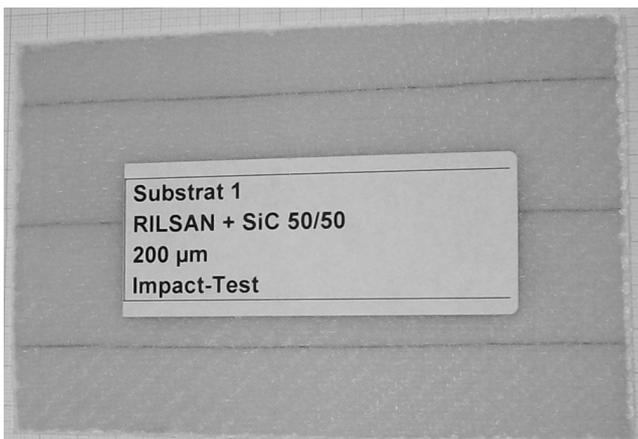


Tankaußenseite

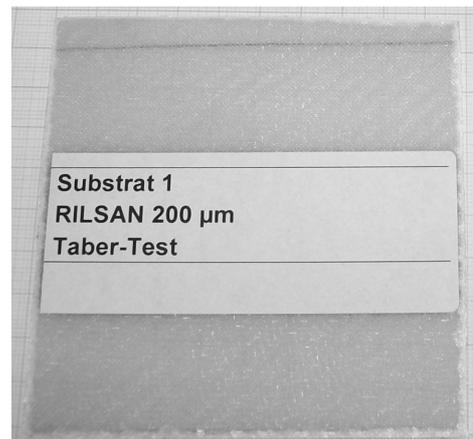


Beschichtungsseite

Abbildung 0.4-28: Probeplatte für Untersuchung der Wasseraufnahme, Substrat 2



Impakt



Verschleiß

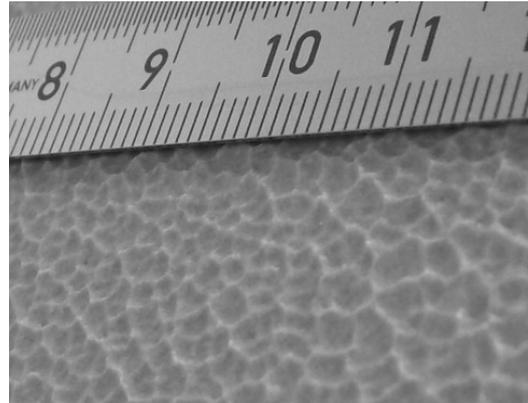
Abbildung 0.4-29: Probeplatten, Substrat 1

Die o.g. Probeplatten wurden an EADS-IW beigestellt und dort beschichtet.

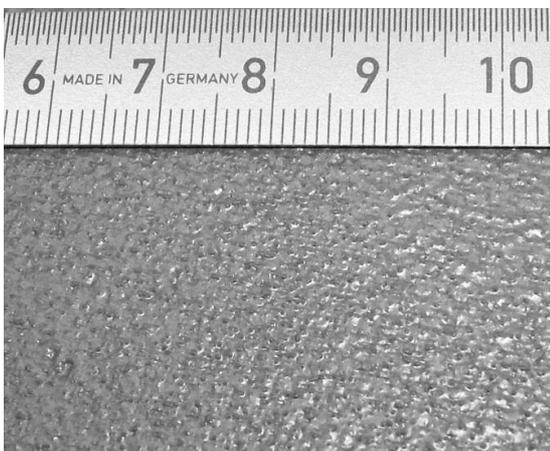
07.Juli 2010		110
--------------	--	-----



Substrat 1, RILSAN, 200µm



Substrat 1, RILSAN + Al₂O₃, 200µm



Substrat 1, RILSAN + SiC, 200µm

Abbildung 0.4-30: Beschichtungsoberfläche in der Sichtprüfung

Die nachfolgende Sichtprüfung ergab folgende Ergebnisse:

- Alle Oberflächen waren sehr uneben und rau.
- Die Schichten erschienen teilweise offenporig. Eine geschlossene Schicht war nicht erkennbar.
- Die Haftung der Schichten war sehr gut. Ablösen war mechanisch nicht möglich.

Weiterführende Untersuchungen der Schichten hinsichtlich Abdeckung, Schichtdicke, Verschleiß und Impaktfestigkeit wurden von EADS-IW durchgeführt und werden dort berichtet.

Die Probelplatten zur Untersuchung der Feuchtaufnahme wurden analog zu Abschnitt 5.4.7.4 in zwei Konditionierbehälter eingebaut und kalibriert. Dabei wurde direkt festgestellt, dass bei beiden Proben auf Substrat 2 keine Messwerte aufgenommen werden konnten. Dies beruht darauf, dass hier als einzige Isolationslage zwischen Sensor und Medium die offensichtlich offenporige Beschichtung liegt. Es stellte sich ein

07.Juli 2010		111
--------------	--	-----

Kurzschluss ein, auf den das Messsystem mit einer konstanten Periodendauer reagiert.

Die Kalibrierung wurde nach einer Konditionierdauer bei 40°C von 4, 18 und 36 Tagen wiederholt und die jeweilige Abweichung zur Ursprungskalibrierung ausgewertet, vgl. nachfolgende Abbildung.

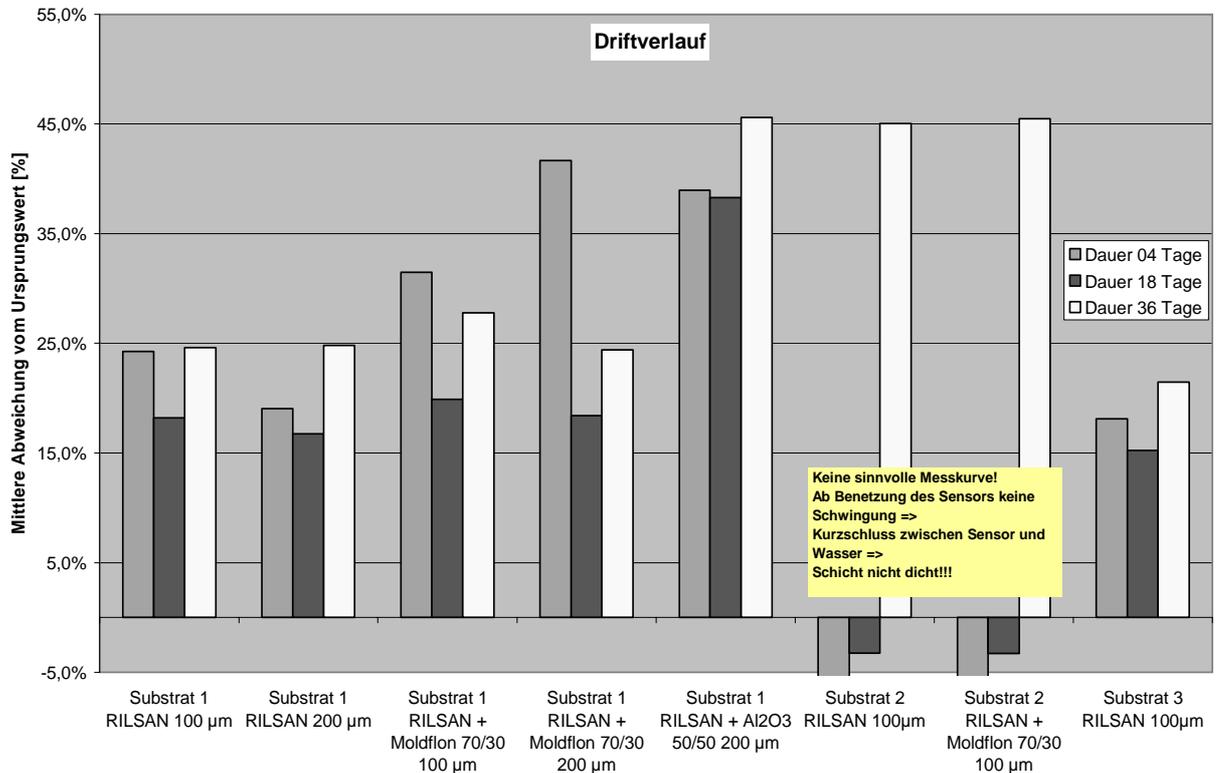


Abbildung 0.4-31: Drift der Kalibrierung nach unterschiedlich langer 40°C-Konditionierung für 8 Proben

Ergebnisse der Driftmessungen:

- 2 Proben konnten nicht ausgewertet werden, da sich Kurzschluss zum Medium einstellte.
- Alle (anderen) Proben erreichten in kurzer Zeit sehr hohe Abweichungen. Längere Konditionierung ergab keinen weiteren Anstieg.
- Die Abweichungen lagen massiv über denen der in bisherigen Kampagnen gemessenen Werten (vgl. Abbildung 6.4-23).
- Aus den Werten kann geschlossen werden, dass die Barrierewirkung der Beschichtung nicht gegeben war. Vielmehr haben (bei den verbliebenen Proben) die darunterliegenden Schichten mit ihren hohen Feuchteaufnahmen zu diesen Abweichungen geführt.
- Die obigen Ergebnisse erscheinen auch vor dem Hintergrund der bei EADS-IW durchgeführten Untersuchungen plausibel.

Im Nachgang zur Probenkampagne wurde seitens EADS-IW die unbefriedigende Ausführung der Beschichtungen untersucht.

Bei den Vorversuchen (vgl. Abschnitt 5.4.8.1) waren die Beschichtungen gleichmäßig glatt und deckend auf Sandwichproben aufgebracht worden. Es wird vermutet, dass durch die thermische Isolierwirkung des Schaums, die Substratplatte höhere Temperaturen angenommen hat und die Thermoplastschicht daher besser verschmolzen ist. Bei den aktuellen Probeplatten aus monolithischem Laminat war die Wärmeabfuhr besser, sodass die Oberflächentemperatur niedriger geblieben ist.

Es wäre über andere Prozessparameter vermutlich möglich gewesen, höhere Substrattemperaturen und damit eine deckende Schicht zu erzielen.

Fazit:

Obwohl die o.g. Testergebnisse nicht befriedigend waren, wird thermisch Spritzen seitens AOA weiterhin als aussichtsreiche Technik zur Innenbeschichtung von Trink- und Abwassertanks betrachtet und weiterverfolgt.

07.Juli 2010		113
--------------	--	-----

5.5. AP 5 Wasserversorgung zur Kabinenluftbefeuchtung

5.5.1. Ziel des Arbeitspaketes

Extrem trockene Luft in der Flugzeugkabine mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von 5% bis 15% ist bei Langstreckenflügen die Regel. Sie ist häufige Ursache von Beschwerden der Passagiere und Besatzung. Andererseits kann die Luftfeuchtigkeit der Kabine zu unerwünschten Effekten wie hohe Kondensatbildung an kalten Oberflächen, feuchte Isolationsmaterialien oder Mehrgewicht des Wassersystems aufgrund des erhöhten Wasserverbrauchs führen. Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung neuer Systeme zur lokalen Kabinenluftbefeuchtung. Luftbefeuchter, die begrenzte Zonen der Passagierkabine befeuchten, haben gegenüber den heute eingesetzten Anlagen den Vorteil eines niedrigeren Wasser-~~verbrauchs~~ bei gleichem ~~Komfort~~.

Im Rahmen der Analyse alternativer Luftbefeuchtungsverfahren hinsichtlich ihrer Eignung zur dezentralen Luftbefeuchtung in Passagierflugzeugen übernimmt AOA den Anteil der Wasserversorgung mit besonderer Berücksichtigung gesundheitlicher Anforderungen und der zuverlässigen Funktion.

Bei Verfahren die feine Wassertropfen z.B. in einem Sprühnebel erzeugen, wird die Kontamination der befeuchteten Luft direkt von der Keimbelastung des verwendeten Wassers bestimmt. Ein hoher organischer Kohlenstoffgehalt (TOC) fördert das Keimwachstum im Wasser selbst und in den Wasser führenden Anlagen.

Wasserhärte bzw. Kalkabscheidekapazität sind die häufigste Ursache für den Ausfall von Luftbefeuchtungsanlagen unabhängig vom angewandten Befeuchtungsverfahren. Ziel des Vorhabens ist daher die Entwicklung von Methoden zur Enthärtung und Desinfektion des verwendeten Wassers, die an die Anforderungen des ausgesuchten Luftbefeuchtungsverfahrens angepasst werden.

Die Anforderungen an die lokale Luftbefeuchtung wurden in enger Zusammenarbeit mit Airbus, EADS IW und dem Institut für Bauphysik der Fraunhofer Gesellschaft definiert.

5.5.2. Anforderungen an Kabinenluft-Befeuchtungssysteme

Zur Abstimmung der Anforderungen und der Aufgaben fanden im Laufe des ersten Halbjahres zwei Treffen mit den Projektpartnern statt.

Ziel der Aktivitäten war ein Anheben der relativen Luftfeuchte (RH) auf ca. 35% bei 23°C. Dies entspricht der minimalen Luftfeuchte im Komfortbereich zw. 35% und 60% bei 23°C (L. Terhaag, in Becker et al., Gesundes Wohnen, Beton-Verlag, 1986).

Die Qualität des Befeuchtungswassers ist von zentraler Bedeutung. Befeuchtungswasser muss Trinkwasserqualität haben [SAE AIR 1609 Rev. A]. Grauwasser oder Abwasser jeder Art darf nicht ohne Reinigung und Desinfektion verwendet werden. Die neue „Trinkwasserverordnung 2001 [TrinkwV 2001]“ ist die rechtlich verbindliche Vorschrift für Trinkwasser in Deutschland. Sie wurde in Folge der europäischen Norm [EG 98/83/EC] „Council Directive on the quality of water intended for human consumption“ novelliert und legt unter anderem folgende mikrobiologische Anforderungen fest (§ 5):

1. In Wasser für den menschlichen Gebrauch dürfen Krankheitserreger nicht in Konzentrationen enthalten sein, die eine Schädigung der menschlichen Gesundheit besorgen lassen.

07.Juli 2010		114
--------------	--	-----

2. Die mikrobiologischen Parameter sind in Anlage 1 zu § 5 wie folgt festgelegt:

Escherichia coli (E. coli)	0 in 100 ml
Enterokokken	0 in 100 ml
Coliforme Bakterien	0 in 100 ml

Gemäß Anlage 3 der TrinkwV 2001 dürfen folgende Indikatorparameter nicht überschritten werden:

- die Kolonienzahl bei 22°C darf 1000 KBE /ml an der Entnahmestelle von Luftfahrzeugen und 20 KBE/ ml nach der Desinfektion nicht überschreiten
- die Kolonienzahl bei 36°C darf 100 KBE /ml an der Entnahmestelle von Luftfahrzeugen nicht überschreiten

Für Trinkwasseranlagen in kommerziellen Luftfahrtanwendungen sind darüber hinaus die Vorschriften der USA verbindlich: Handbook on Sanitation of Airlines [USPH Handbook on Sanitation of Airlines Reprint 1974]. Das Handbuch enthält Standards zur Planung, zum Bau und Betrieb von Wasserversorgungsanlagen.

Allgemein gültige Empfehlungen zu Eigenschaften von Trinkwasser und dessen Aufbereitung enthalten die Richtlinien der WHO: „Water Quality Standards, Guidelines and Health“.

Für die Anwendung in Gebäuden sind Luftbefeuchter mit unterschiedlichen Funktionsprinzipien kommerziell verfügbar:

- *Passive Luftbefeuchter* z.B. Heizkörperverdunster verdunsten Wasser ohne technische Hilfsmittel
- *Verdampfer* erwärmen Wasser z.B. über eine Heizwendel
- *Verdunster*, ein Ventilator befördert trockene Luft über ein Verdunstungselement, dies kann eine Filtermatte sein oder das Wasser wird über rotierende Scheiben geleitet, die eine große Wasseroberfläche erzeugen.
- *Vernebler*, Wasser wird mit Ultraschall zerstäubt
- *Druckluftzerstäuber* erzeugen Nebel über eine Druckluftdüse

Die aktuellen Luftbefeuchter in Flugzeugen, die jedoch nicht in der Passagierkabine sondern nur für die Besatzung z.B.: im „Cabin Crew Rest Compartment“ eingesetzt werden, sind Verdunster mit Filtermatten aus Glasfasern. Diese sind für eine lokale Befeuchtung der Passagierkabine nur bedingt geeignet, da sie u. a. großvolumig und schwer sind.

Von EADS CRC wurden Druckluftzerstäuber im Auftrag von Airbus untersucht, jedoch wegen der großen Tröpfchengröße nicht weiter verfolgt. Im Rahmen dieses Vorhabens wurde eine Befeuchtung über semipermeable Membranen bei AOA und bei EADS IW untersucht. Bei diesem Verfahren wird Wasser über ein Membranmodul geleitet, das Wasser an die vorbei strömende Luft abgibt.

Ein weiteres viel versprechendes Verfahren für die Anwendung im Flugzeug ist die Befeuchtung mittels Ultraschall (s. Abb. 6.5-1). Um eine Gegenüberstellung und Bewertung der beiden neuen Verfahren zu ermöglichen, wurde bei AOA in einer Machbarkeitsstudie die Eignung dieses Verfahrens geprüft.

07.Juli 2010		115
--------------	--	-----

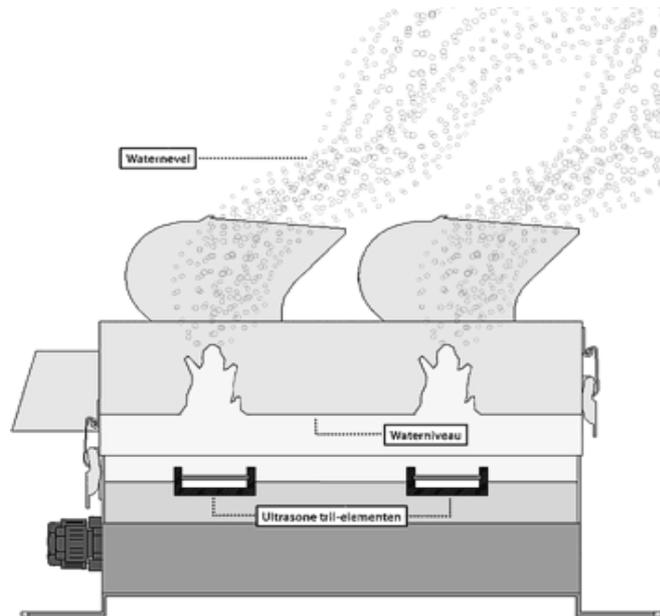


Abb. 6.5-1: Funktionsprinzip eines Ultraschall- Luftbefeuchters

Ultraschallzerstäuber enthalten ein schwingendes Piezoelement. Dieses erzeugt eine Schwingung von 1,6 GHz, die zur Bildung von Kavitationsblasen führt. Bei der Implosion dieser Blasen entstehen „Micro-Jets“, die kleinste Wasserpartikel mit einem Durchmesser von typisch $\sim 1\mu\text{m}$ herausschleudern.

Folgende Eigenschaften machen Ultraschall- Luftbefeuchter zu einem potentiell geeigneten Kandidaten für Luftfahrtanwendungen:

- Geringer Energiebedarf
- Hohe Befeuchterleistung / Geringes Gewicht
- Kleine Ausmaße („Lokale Befeuchtung“)
- Exakte, Einfache Regelbarkeit
- Hervorragender Wasserverdunstungskoeffizient
- Geringer Wartungsaufwand

Im Rahmen der anschließenden Konzeptphase wurden die Vor- und Nachteile verschiedener Befeuchtungsmethoden gegenübergestellt und unter dem Aspekt der Hygiene und Wasseraufbereitung genauer untersucht.

5.5.3. Wasseraufbereitungs-Konzepte für verschiedene Luftbefeuchtungsverfahren

Innerhalb des AP 5.2 gab es folgende Aktivitäten:

- Technologie - Screening von Enthärtungsverfahren und Desinfektionsverfahren hinsichtlich der definierten Anforderungen (vgl. Abb. 6.5-2)

07.Juli 2010		116
--------------	--	-----

- Konzepterstellung für potentiell umsetzbare Technologien
- Entwicklung von Architekturen des Water Management Subsystems zur Integration in den universellen Versorgungskanal
- Bewertung der Wasseraufbereitungs-Konzepte im Hinblick auf die Konzepte zur Luftbefeuchtung
- Auswahl eines Wasseraufbereitungskonzeptes für die Realisierung im Demonstrator

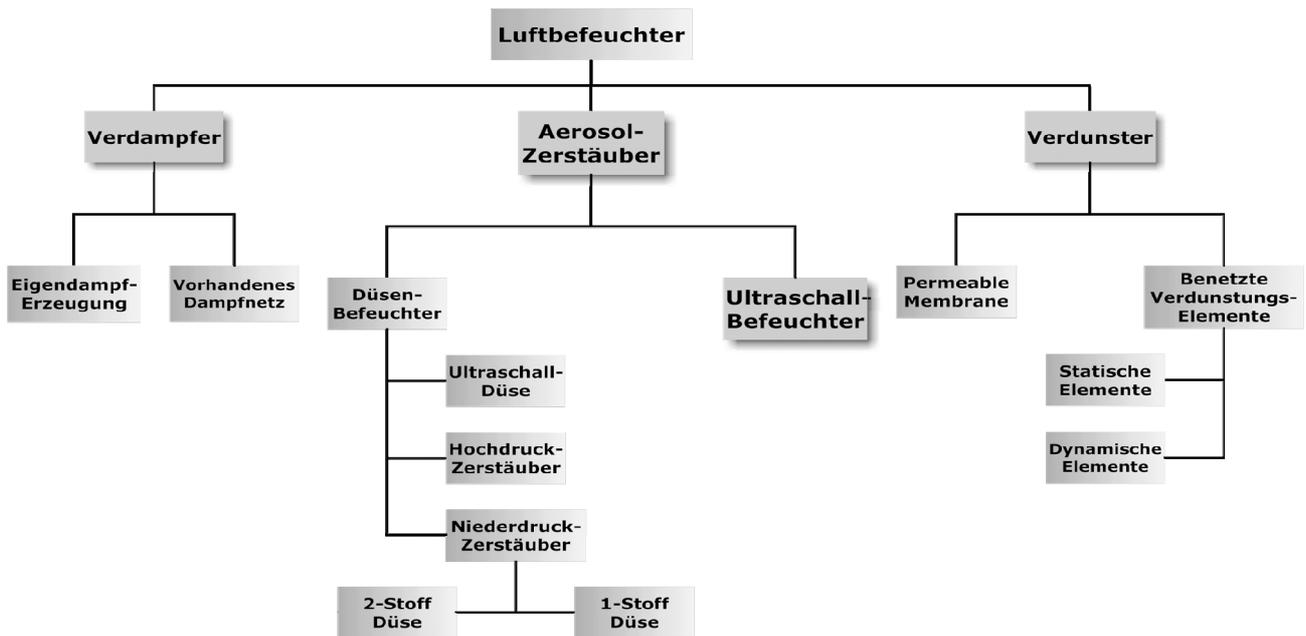


Abb. 6.5-2: Systematik potentieller Verfahren zur Luftbefeuchtung

Die wesentlichen Vor- und Nachteile der verschiedenen Verfahren sind in Tabelle 6.5-1 gegenübergestellt.

Verfahren	Vorteile	Nachteile
Verdampfer	Hygienisch und medizinisch unbedenklich Einfacher Aufbau	Hoher Energieverbrauch Träge Regelung
Zerstäuber	Adiabate Befeuchtung Kleiner Platzbedarf Gute Regelbarkeit	Hygienisch bedenklich wegen Partikelemission Erzeugung von lungengängigem Aerosol Hoher Wasseraufbereitungsaufwand (Entkeimung)
Verdunster	Hygienisch unbedenklich Adiabate Befeuchtung	Großer Platzbedarf Großer Wasserverbrauch Begrenzter Aufwechungsgrad
Permeable Membran (Verdunster)	Hygienisch unbedenklich Adiabate Befeuchtung	Hoher Druckabfall (luftseitig) Hoher Wasseraufbereitungsaufwand (Entsalzung)

Tabelle 6.5-1: Vor- und Nachteile verschiedener Luftbefeuchtungsverfahren

Vergleicht man das gesundheitliche Gefährdungspotential, das von den Luftbefeuchtungsverfahren ausgeht, so ergibt sich das in **Abb. 6.5-3** dargestellte Bild. Demnach werden Verdampfer als die gesundheitlich sichersten Luftbefeuchter eingeschätzt, da sie Wassermoleküle ohne jegliche Verunreinigung an die Luft abgeben. Die hohe Temperatur wirkt keimtötend und verhindert Keimwachstum im Befeuchtungswasser und den Wasser führenden Komponenten. Verdunster geben ebenfalls Moleküle und keine Tröpfchen ab. Das Verdunstermedium wie z.B. das Pad oder Kassetten mit rotierenden Scheiben verkalken und können im Laufe eines längeren Betriebs von Pilzen und Bakterien besiedelt werden. Es ist umstritten, ob durch den Luftstrom über dem Verdunstungsmedium Keime oder Sporen mitgerissen werden.

Allgemein wird das gesundheitliche Risiko der Zerstäuber am höchsten eingeschätzt. Sie geben mit den Wassertropfen (Aerosolen), die sie erzeugen, alle chemischen Inhaltstoffe und alle mikrobiologischen Verunreinigungen an den Luftstrom ab und müssen daher mit einer ausreichenden „Verdunstungsstrecke“ und einem Tröpfchenabscheider betrieben werden. Auch ist bei diesem Verfahren auf die mikrobiologische Wasserqualität besonders zu achten, d.h. der Aufwand zur Wasserdesinfektion ist bei diesen Anlagen besonders groß.

Grundsätzlich steigt der Aufwand zur Wasserdesinfektion mit dem gesundheitlichen Gefährdungspotential der Luftbefeuchtungsanlagen.

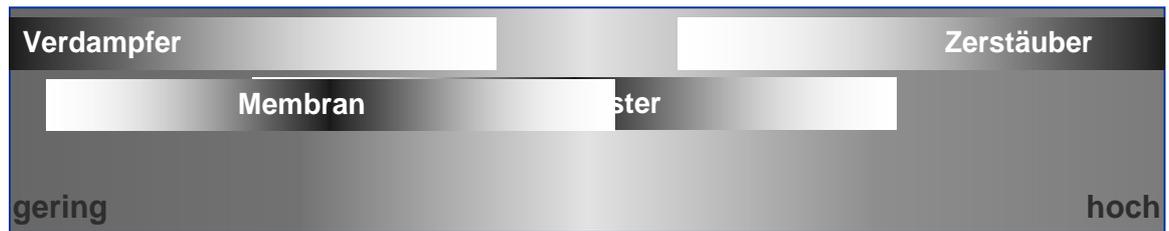


Abb. 6.5-3: Bewertung des gesundheitlichen Gefahrenpotentials verschiedener Luftbefeuchtungsverfahren.

Technologien zur Entsalzung/Enthärtung des Wassers

Wird eine Luftbefeuchtungsanlage mit Leitungswasser ohne vorherige Demineralisierung betrieben, so sind regelmäßige Wartungsmaßnahmen zum Austausch der verkalkten Komponenten oder der Regenerierung dieser Komponenten vorzusehen. Die Dauer der Wartungsintervalle hängt von dem Gehalt an Mineralien ab.

Grundsätzlich kommen zur Vermeidung von mineralischen Ablagerungen entweder eine Enthärtung oder eine Entsalzung in Frage. Während Enthärtungsanlagen lediglich die „Härtebildner“ Kalzium und Magnesium über einen Ionenaustauscher entfernen, können Entmineralisierungsanlagen sämtliche im Wasser gelösten Salze entfernen. Die Entmineralisierung kann entweder über sogenannte „Mischbett-Ionenaustauscher“ oder über Membranverfahren wie die Umkehrosmose erfolgen.

Zur Enthärtung werden meist Kationenaustauscher eingesetzt. Dabei strömt das Wasser durch eine Kationenaustauschersäule. Ca^{2+} und Mg^{2+} -Ionen werden in der Regel gegen Na^+ -Ionen getauscht. Das enthärtete Wasser enthält nun mehr Na^+ - sowie (fast) alle vor der Behandlung vorhandenen Kationen und alle Anionen wie z.B. SO_4^{2-} -, Cl^- -, NO_3^- - und HCO_3^- -Ionen. Die Regenerierung des erschöpften Kationenaustauschers erfolgt mit einer Salzlösung (Sole aus Regeneriersalz, s. Abb. 6.5-4). Während der Regenerierung erfolgt eine Desinfektion des Ionenaustauschers mit vor Ort elektrolytisch generiertem Desinfektionsmittel. Eine Regenerierung des Ionenaustauscherharzes „vor Ort“ d.h. im Flugzeug, kommt jedoch aus folgenden Gründen nicht in Betracht:

- Die Regenerierung erfordert einen Anschluss und Leitungen zum Abwassersystem.
- Das Regeneriersalz müsste mitgeführt werden. Dies bedeutet zusätzliches Gewicht und Platzbedarf
- Danach müsste der Ionenaustauscher mit frischem Wasser gespült werden, was einen zusätzlichen Wasserbedarf verursacht
- Das nasse Ionenaustauscherharz kann wegen des Keimwachstums nicht längere Zeit gelagert werden.

Aus diesen Gründen käme nur die Anwendung von Einweg-Ionenaustauscher-Patronen in Frage. Die Kapazität von Kationenaustauschern beträgt ca. $4 \text{ m}^3/\text{d}^\circ\text{H}/\text{Liter}$ Harz. Mit einem Liter Austauscher kann also die Wasserhärte von 400 Liter Wasser um 10°dH (entspricht $71,4 \text{ mg Ca}^{2+}/\text{l}$) reduziert werden.



Abb. 6.5-4: Ionenaustauscherharz

Vollentsalztes Wasser kann mit einer Kombination aus Anionen- und – Kationenaustauschern erzeugt werden. Diese werden in zwei getrennten Säulen oder in einem Mischbett betrieben. Hierbei werden sämtliche Anionen durch die Hydroxylgruppe OH^- und alle Kationen durch ein Proton H^+ ersetzt. Mit einem Liter Mischbettharz können ca. 40 bis 90 Liter voll entsalztes Wasser hergestellt werden.

Eine typische Mischbettionenaustauscherpatrone mit einem Gewicht von 2 kg und den Dimensionen 8,5 cm x 43 cm (Durchmesser x Länge) hat eine Kapazität von 68 g CaCO_3 (SAE AIR 1609). Mit einer Patrone könnten z.B. ca. 170 Liter Wasser (London-Heathrow-Leitungswasser) entsalzt werden. Dies würde ausreichen um z.B. 8 Passagiere in der First Class über 9 Flüge a 8 Stunden lokal mit befeuchteter Luft zu versorgen.

Die Umkehrosmose ist ein weiteres häufig eingesetztes Verfahren zur Herstellung von entmineralisiertem Wasser. Zur Gewinnung von reinem Wasser werden Membranen aus unterschiedlichen synthetischen Materialien eingesetzt. Diese Membranen sind für Wassermoleküle durchlässig, die wassergelösten Fremdionen werden zurückgehalten. Auf die konzentrierte Lösung (Rohwasser) wird ein Druck ausgeübt, der größer ist als der osmotische Druck). Hierbei erfolgt die Trennung der konzentrierten Lösung (Rohwasser) in einen Teilstrom mit reinem Wasser (Permeat) und einem Teilstrom mit Wasser, in dem sich die von der Membrane zurückgehaltenen Wasserinhaltsstoffe befinden. Diesen Teilstrom bezeichnet man als Konzentrat. Abhängig von der Membran, der Temperatur und dem Druck kann die Ausbeute an Permeat bis zu 75% betragen. Das salzhaltige Konzentrat wird mit dem Abwasser entsorgt. Kommt eine RO-Anlage im Flugzeug zum Einsatz, so muss ein Anschlusse und Leitungen zum Abwassersystem vorgesehen werden. Bei der Berechnung des Wasserverbrauchs für die Luftbefeuchtung ist das Konzentratvolumen mit zu berücksichtigen. **Abb. 6.5-5** zeigt beispielhaft ein sehr kleines Umkehrosmosemodul (aquasoft Mini3). Die Anlage enthält wie die meisten RO-Anlagen drei Reinigungsstufen:

- Einen Sedimentfilter - entfernt u. a. grobe Partikel wie z.B. Sand, Rost, Chlor, Kalk uvm.
- Einen Aktivkohlefilter - entfernt u. a. Schweb- & Geschmackstoffe sowie feinste Partikel
- Umkehrosmose mit TFC Membrane - Die Membrane entfernt gelöste Inhaltstoffe sowie Bakterien, Viren, Hormone, Pestizide, Fungizide u. a.

Die Anlage gehört zu den kleinsten handelsüblichen Umkehrosomoseanlagen und hat folgende Leistungsmerkmale:

07.Juli 2010		120
--------------	--	-----

- Tagesleistung 190 Liter Leistungswasser
- Gewicht: ca. 2 kg
- Filterwechsel: jährlich
- Membranmodulwechsel: alle 36 bis 48 Monate
- Abmessungen: 33 x 18 x 6 cm (L x B x H)
- Verhältnis Permeat zu Konzentratabwasser 1 zu 4
- Preis: ca. 100 EUR



Abb. 6.5-5: Umkehrosomoseanlage mit einem Partikelfilter und einem Aktivkohlefilter

Technologien zur Desinfektion des Luftbefeuchtungswassers

Grundsätzlich darf zur Luftbefeuchtung nur Trinkwasser (gem. VDI-Richtlinie VDI 6022 Hygieneanforderungen an Raumluftechnische Anlagen und Geräte) eingesetzt werden. Die Anforderungen an Trinkwasser sind in der „Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung“ vom Mai 2001 kurz TrinkwV 2001 festgelegt. Die TrinkwV 2001 regelt zum einen mikrobiologische und chemische Qualitätsanforderungen und zum anderen die zulässigen Aufbereitungsverfahren und Aufbereitungsstoffe. Damit ist die Liste der in Frage kommenden Desinfektionsverfahren auf folgende Verfahren (Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren gemäß TrinkwV 2001, § 11, Teil II) begrenzt:

1. UV-Bestrahlung
2. Dosierung von Chlorgaslösungen,
3. Dosierung von Natrium- und Calciumhypochlorit-Lösungen,
4. Elektrolytische Herstellung und Dosierung von Chlor vor Ort
5. Dosierung von vor Ort hergestellten Chlordioxidlösungen
6. Erzeugung und Dosierung von Ozon und Ozonlösungen vor Ort

Dabei muss Trinkwasser in Luftfahrzeugen die in **Tabelle 6.5-2** und **Tabelle 6.5-3** angegebenen mikrobiologische Anforderungen erfüllen

07.Juli 2010		121
--------------	--	-----

Lfd. Nr.	Parameter	Grenzwert Anzahl in 100 ml
1	Escherichia coli	0
2	Enterokokken	0
3	Coliforme Bakterien	0

Tabelle 6.5-2: Anlage 1 der TrinkwV 2001

Lfd. Nr.	Parameter	Grenzwert	Bemerkungen
1	Koloniezahl bei 22 °C	Ohne anormale Veränderung	Grenzwert: 1000 / ml
2	Koloniezahl bei 37°C	Ohne anormale Veränderung	Grenzwert: 100 / ml

Tabelle 6.5-3: Ausschnitt aus Anlage 3 der TrinkwV 2001, geltende Indikatorparameter für Trinkwasser in Luftfahrzeugen

Da Trinkwasser in Flugzeugen über mehrere Stunden gelagert wird und das getankte Wasser nicht immer den Anforderungen entspricht, ist die Auswahl eines hygienisch sicheren Luftbefeuchtungsverfahrens von besonderer Bedeutung. Zu diesen Verfahren gehören:

1. Die heiße Verdampfung , aufgrund der hohen Betriebstemperatur
2. Die Membranbefeuchter, die ebenfalls Wassermoleküle abgeben und zudem eine bakterizid wirkende Membran enthalten können. Sulfonamidgruppen in der Membran hemmen die Bildung von Biofilmen auf der Membran und
3. Die kalte Verdunstung bei der Wassermoleküle (keine Tropfen) von einem Verdunstungsträger dem so genannten „Pad“ abgegeben werden

Um mikrobiologisch sicher zu sein, müssen sowohl kalte Verdunster als auch Membranbefeuchter vor jeder Stillstandsphase (z.B. über Nacht) getrocknet werden, um Bakterienwachstum auf feuchten Oberflächen zu vermeiden.

Eine Technologierecherche zu kleinen Luftbefeuchtern, z.B. für den privaten Gebrauch in Wohnräumen, hat ergeben, dass hochwertige Geräte in der Regel mit einer UV-Desinfektion ausgerüstet sind (**Abb. 6.5-1**, rechts). Dabei wird ein kleiner UV-Strahler in das Wasserreservoir gehängt. Eine Dauerbestrahlung mit UV-Licht verhindert das Wachstum von Keimen im Wasser und den Oberflächen des Speichers.

Eine preiswertere Möglichkeit das Keimwachstum zu reduzieren ist ein sogenannter Silberionenstab (**Abb. 6.5-6**, links), der nach ca. 3 Monaten ausgetauscht werden muss. Dabei wird die konservierende Wirkung von Silberionen genutzt, die bei einer sehr geringen Konzentration von bis zu 0,1 mg/l wirksam sind. Die Anwendung dieses Verfahrens ist jedoch gem. TrinkwV 2001 nur bei „nicht systematischem Gebrauch im Ausnahmefall“ gestattet.



Abb. 6.5-6: Silberionenstab UV- Strahler
zur Anwendung in Luftbefeuchtern

Ergänzend zu der Erstellung des Technologieüberblicks über potentiell geeignete Luftbefeuchtungsverfahren von EADS IW im Auftrag von Airbus wurden bei AOA folgende viel versprechende Verfahren experimentell untersucht (**Abb. 6.5-7**, **Abb. 6.5-8** und **Abb. 6.5-9**), um fundierte Aussagen zu Betriebsparametern und Eigenschaften treffen zu können:

- Luftbefeuchtung mit Ultraschall,
- Membranluftbefeuchtung und
- Verdunstungsluftbefeuchtung als Referenzverfahren, das zurzeit in ausgesuchten Flugzeugkabinenbereichen wie dem „Crew Rest Compartment“ und Cockpit eingesetzt wird.



Abb. 6.5-7: „Pad“ eines Luftbefeuchters bestehend aus Glasfasermatten zur kalten Verdunstung

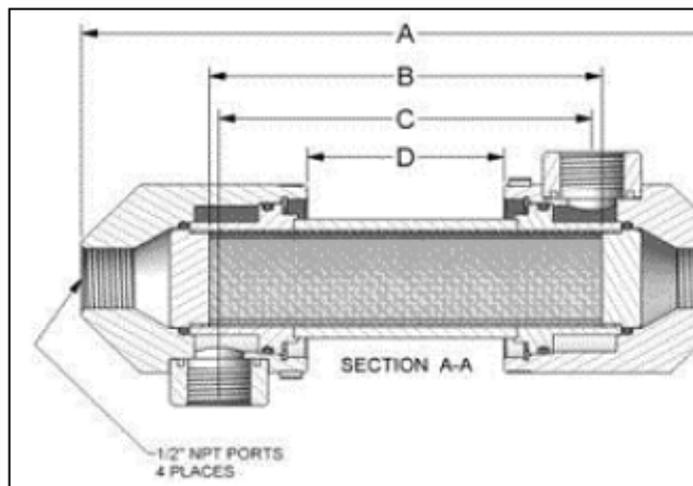


Abb. 6.5-8: Querschnitt einer Membranbefeuchtungseinheit von PermaPure



Abb. 6.5-9: Funktionsprinzip und Bild von Ultraschallschwingern zur Luftbefeuchtung

Die kalte Verdunstung stellt den aktuellen Stand der Technik in Flugzeugen dar und wurde als Referenzverfahren bei der Beurteilung von alternativen Verfahren herangezogen. Membranbefeuchtung und Ultraschallschwinger sind hingegen aufgrund der kleinen Abmessungen für die „lokale Luftbefeuchtung“ viel versprechende Verfahren.

Die Konzepte zur lokalen individuellen Luftbefeuchtung unterscheiden sich grundlegend in dem Maß an Dezentralisierung ihrer Subsysteme:

- Wasserversorgung: aus Trinkwassersystem, rezirkuliert aus Wasserbehältern die in den Sitzen integriert werden oder aus einer Brennstoffzelle, die in Zukunft die Stromversorgung des Flugzeugs bereitstellen könnte
- Luftversorgung: aus dem zentralen Klimasystem oder aus einem lokalen Rezirkulationssystem
- Luftbefeuchtung: aus einer zentralen oder vielen lokalen Einheiten
- Wasseraufbereitung: abhängig vom ausgesuchten Befeuchtungsverfahren.

Die Systemarchitektur mit dem höchsten Grad an Dezentralisierung stellt der so genannten „autonome Sitz“ mit individueller Luftbefeuchtung dar. Bei diesem Konzept reduziert sich die Aufgabe der Wasserversorgung auf die Entwicklung eines einfach und schnell auszutauschenden Wasserkanisters. Eine Wasseraufbereitung erübrigt sich, da es wirtschaftlicher ist, salzfreies (oder salzarmes) und desinfiziertes Wasser am Boden herzustellen und in die Mehrwegflaschen abzufüllen.

Gemeinsam mit Airbus und EADS wurden die in **Tabelle 6.5-4** aufgelisteten Konzeptvarianten zur „Sitz-integrierten Luftbefeuchtung“ entwickelt:

Konzept-Nr.	Luftbefeuchtungsverfahren	Wasserversorgung
1	Ultraschall	Schwerkraft
2	Membran	Schwerkraft
3	Verdampfung	Schwerkraft
4	Verdunstung "Pad"	Schwerkraft
5	Ultraschall	Pumpe
6	Membran	Pumpe
7	Verdampfung	Pumpe
8	Verdunstung "Pad"	Pumpe
9	Ultraschall	Thermostat
10	Membran	Thermostat

Tabelle 6.5-4: Konzepte zur lokalen Luftbefeuchtung

Abb. 6.5-10 zeigt beispielhaft Konzept 10 mit Membranbefeuchtung und Thermostat. Entsprechende Konzepte wurden für die 10 genannten Verfahrenskombinationen skizziert und bezüglich Umsetzbarkeit untersucht.

Von Airbus wurde eine umfangreiche Bewertungsmatrix erstellt. Die Konzepte wurden in enger Zusammenarbeit von Airbus, EADS und AOA bewertet (s. Tabelle 6.5-6).

Das Konzept mit Membranbefeuchtung und Thermostat schnitt in der gemeinsamen Bewertung am besten ab und wurde im Verlauf des Vorhabens weiter detailliert.

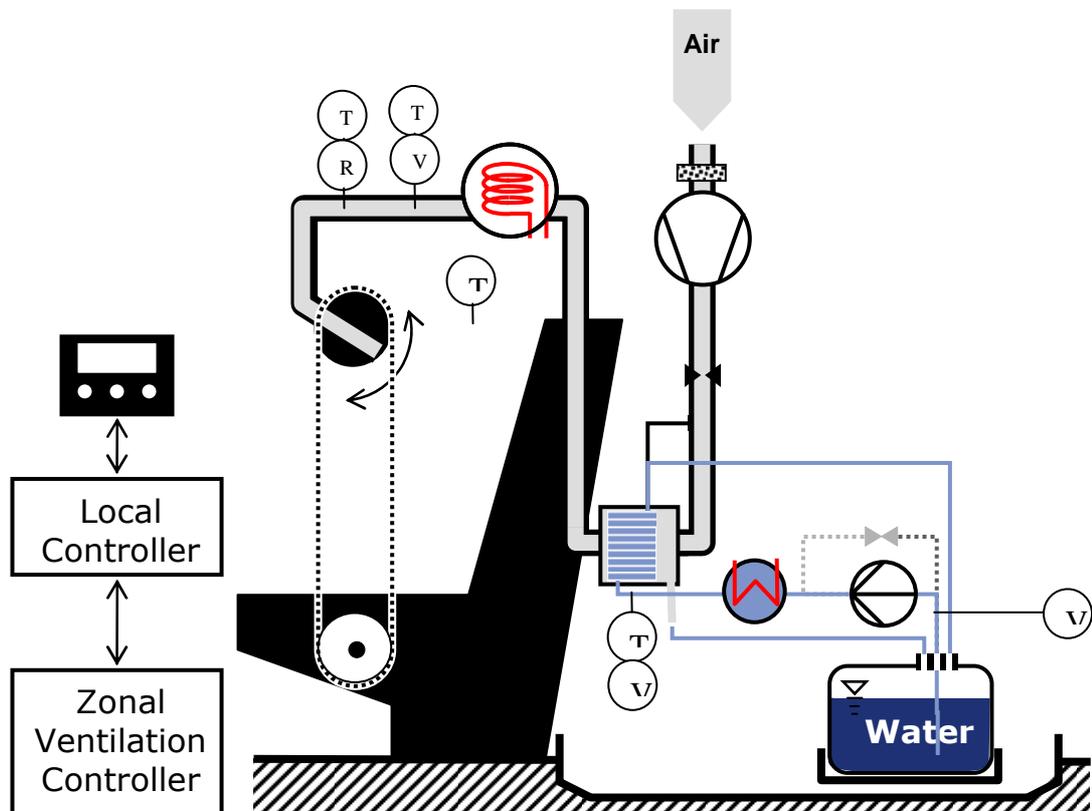


Abb. 6.5-10: Schematische Darstellung eines Konzeptes zur Sitz-integrierten Luftbefeuchtung mit Membraneinheit (Quelle: Airbus)

Evaluation Humidification System	on/off; Drying time; Equilibration after cold/hot soak Personal climate control capability; Use with Evian; Disinfection option (Ag+) Ease of change (e.g. partly full container); Time to change refill on-site/on aircraft; Best-before time, storage and transport; Off-the-shelf Electrical power consumption; Water efficiency Aerosol; bio contamination; small contamination; dust contamination liquid water / condensation; Noise emission; Risk of temperature deviation; Freedom of movement; drain to cabin Equipment hardware Cost of equipment; Cost of lifetime-limited parts; Recycling of water canisters; Storage of canisters Number of parts; Complexity of Control; Number of control loops; Number of sensors/actuators/inputs/outputs Installation Volume; Installation greatest dimension; Flexibility of installation (heights/orientation of parts); Connections to A/C (Electrical, Controls, Drain) Scheduled / On Demand; Unscheduled; Failure detection; Self-monitoring; Accessibility of lifetime-limited parts Expected Mean time before failure of components; Safety-relevant reliability Rapid decompression risks; Leaking; Hot surfaces; Fire; Crash safety; segregation of high-voltage electric and water Development Costs : Maturity; Development Duration; Experience in KABTEC Appearance																
	Operational flexibility	System Flexibility	Water canisters handling	Water canisters logistics	Efficiency	Health relevant impact	Comfort relevant impact	System Weight	System costs	System complexity	System Size / Integration	Maintainability	System Reliability	Safety	Development Risk	Appearance	Score
<i>Weighing factor</i>	6,0%	3,1%	5,0%	3,2%	4,6%	12,1%	8,5%	5,0%	2,8%	6,1%	6,1%	7,4%	8,3%	11,0%	8,6%	2,4%	
Ultrasonic - Gravity	1	2	1	2	2	1,3	1	1,3	2,476	1,052	1,95	1,61	1,584	2	1	2	1,5
Membrane - Gravity	1	1	1	2	2,5	2,8	2	1,0	1,424	1,44	2,081	2,11	1,4	2	2	2	1,8
Boiler - Gravity	3	2	1	2	2	3	2,5	1,0	2,596	2,373	2,166	2,648	3	2	1	2	2,2
Pad - Gravity	1	3	1	2	2,3	2,5	2	2,7	2,603	1,519	1,997	2,106	1,45	2	2,5	2	2,0
Ultrasonic - Pump	2	2	2	2	2	1	2	1,5	2,359	1	1,747	1,681	1,079	2	1	2	1,6
Membrane - Pump	2	2	2	2	2	2,6	2	1,9	1,646	1,505	1,909	2,144	1	2	2	2	2,0
Boiler - Pump	3	2	2	2	1,5	2,8	2,5	1,4	2,457	2,197	1,905	2,284	2,469	2	1	2	2,1
Pad - Pump	2	3	2	2	2	2,3	2	3,0	2,551	1,519	1,902	1,941	1,168	2	2,5	2	2,1
Ultrasonic - Thermostat	3	2	2	2	1,5	1,5	2	2,9	2,375	1,207	1,631	1,883	1,963	2,5	1	2	1,9
Membrane - Thermostat	2,5	2	2	2	1,8	3	3	3,0	1,886	1,706	1,767	2,394	1,472	2,5	2,5	2	2,3

Ranking		
Rank	ndx	Parameter
1	10	Membrane - Thermostat
2	3	Boiler - Gravity
3	7	Boiler - Pump
4	8	Pad - Pump
5	4	Pad - Gravity
6	6	Membrane - Pump
7	9	Ultrasonic - Thermostat
8	2	Membrane - Gravity
9	5	Ultrasonic - Pump
10	1	Ultrasonic - Gravity

Tabelle 6.5-5: Bewertungsmatrix der verschiedenen Sitz-Integrierten Luftbefeuchtungskonzepte.

5.5.4. Spezifikationserstellung für das Water Management Subsystems

Während bei EADS im Auftrag von Airbus das Konzept der Sitz-integrierten Luftbefeuchtung weiter detailliert wurde, wurde bei AOA das Konzept des Wasserknisters für einen einfachen Austausch im Sitz entwickelt.

Wesentliche Anforderungen an die Wasserspeicher waren:

- Einfacher Ein-/Ausbau
- Leichtbau
- Belüftung
- Desinfizierbarkeit
- Trinkwassereignung
- Kostengünstige Herstellung

In **Abb. 6.5-11** ist das Konzept des Wasserkanisters und des einfachen Ein-/Ausbaus dargestellt.

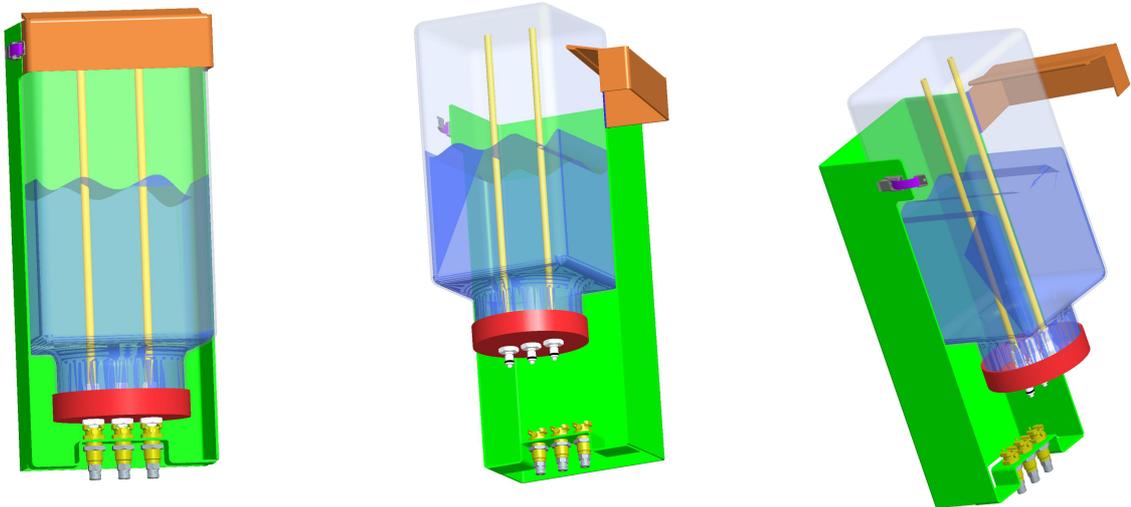


Abb. 6.5-11: Wasserkanister mit Halterung zur Integration in einen Sitz mit lokaler Membran-Luftbefeuchtung

Gemeinsames Ziel der Arbeiten der Verbundpartner Airbus, EADS und AOA zu diesem Arbeitspaket waren die Herstellung und Tests des Technologie-Demonstrators „Integraler Sitz mit Luftbefeuchtung“. Der Beitrag der AOA zu diesem AP sollte Entwicklung, Herstellung und Integration des Wasserspeichers sein. Aufgrund von Verzögerungen im Projektablauf bei den Verbundpartnern konnte das Wasserspeicherkonzept nicht realisiert und erprobt werden.

Der Schwerpunkt der weiteren Arbeiten bei AOA wurde daher auf Verdunstungs-Luftbefeuchter verlagert. Diese werden bereits in der Luftfahrt eingesetzt und von CTT in Zusammenarbeit mit AOA geliefert.

Sie enthalten Verdunstungsfilter, das sind so genannte „Pads“ aus Glasfasern in Wabenstruktur. Da diese Luftbefeuchter mit dem unbehandelten, an Bord verfügbaren Frischwasser betrieben werden, verkalken sie mit der Zeit. Als Folge sinkt die Befeuchtungsleistung und die Filter müssen ausgetauscht werden. Glasfaserpads können nicht mit demineralisiertem Wasser betrieben werden, da dadurch ihre Lebensdauer beeinträchtigt wird. Bei AOA wurde daher die Eignung von regenerierbarem Polyestervlies für die Anwendung in Verdunstungsfiltern untersucht.

Das Verdunstungsvlies aus Polyester kann bei Bedarf entkalkt und desinfiziert werden oder mit entsalztem Wasser betrieben werden. Es sollte jedoch nach einer gewissen Zeit (ca. 1 Jahr) aus hygienischen Gründen ebenfalls ausgetauscht werden.

Die Vorteile von Kunststoffvlies gegenüber Glasfaserwaben sind:

- Das Vlies kann regeneriert und desinfiziert werden

07.Juli 2010		128
--------------	--	-----

- Der Luftbefeuchter kann mit entsalztem Wasser (aus einer RO-Anlage und in künftigen Flugzeugen mit Wasser aus der Brennstoffzelle) betrieben werden. Dadurch ist die Standzeit zwischen zwei Wartungsintervallen unabhängig von der getankten Wasserqualität.
- Der Salzgehalt des Wassers ist nicht dimensionierend für die Größe der Pads. Die Kassetten können kleiner und leichter sein.
- Es können keine Glasfasern frei gesetzt werden

5.5.5. Demonstratorfertigung und Integration

Für die vergleichenden Untersuchungen wurden zwei Kassetten - eine mit Glasfasermatten und eine mit Polyestervlies (Abb. 6.5-12) - hergestellt und in die Befeuchtungseinheit integriert.

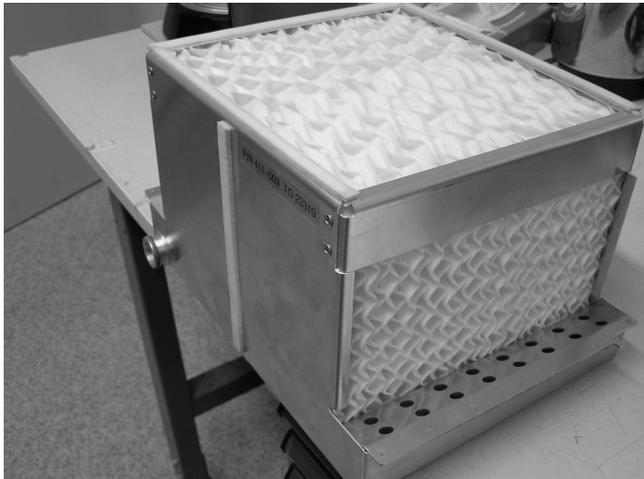


Abb. 6.5-12: Kassette mit Polyester Pad

Die Abmessungen der beiden Kassetten waren gleich und betragen:

Länge	325 mm
Breite	221,5 mm
Höhe	181,8 mm

5.5.6. Test und Verifikation

Schwerpunkte dieses Arbeitspaketes waren zum einen experimentelle Untersuchungen der ausgesuchten Membranbefeuchtungseinheit für die Luftbefeuchtung in einem „Integralen Sitz“ und zum anderen vergleichende Untersuchungen von Verdunstungsluftbefeuchtern mit Glasfasermatten bzw. mit Polyestervliesmatten.

07.Juli 2010		129
--------------	--	-----

In Absprache mit Airbus wurde ein Membranluftbefeuchter (**Abb. 6.5-8**) experimentell untersucht, um fundierte Aussagen zu Betriebsparametern und Eigenschaften dieser Luftbefeuchter treffen zu können.

In Tabelle 6.5-6 sind die technischen Daten der Einheit zusammen gefasst.

Abmessungen	L 210mm x B 63mm x H 86 mm
Gewicht	0,195 kg
Maximaler zulässiger Druck	1,7 bar
Membranoberfläche	0,10 m ²
Membranzvolumen	Tube side – 27 cm ³ Shell side – 62 cm ³ Total – 89 cm ³

Tabelle 6.5-6: Technische Daten der Membraneinheit

Für die Befeuchtungseinheit wurde eine relative Luftfeuchtigkeit von 95% (90% - 98%) bei einer Lufttemperatur von 23°C hinter der Einheit bei folgenden Auslegungsparametern gefordert:

Volumenstrom Luft: 240 Liter/ min
 Volumenstrom Wasser: 1,2 Liter/min
 Eingangstemperatur der Luft: 23 °C

Es wurden folgende mögliche Betriebsweisen der Membraneinheit betrachtet:

1. Der Luftstrom wird axial an den Enden der Einheit angeschlossen und strömt innerhalb der Hohlfasern („Tube Side“). Der Wasserkreislauf wird seitlich angeschlossen und das Wasser fließt außerhalb der Hohlfasern („Shell Side“, s. Abb. 6.5-13)
2. Ein Wasserkreislauf wird an den Enden angeschlossen und das Wasser strömt durch die Hohlfasern („Tube Side“). Der Luftstrom wird seitlich angeschlossen und strömt außerhalb der Hohlfasern („Tube Side“ s. Abb. 6.5-14)

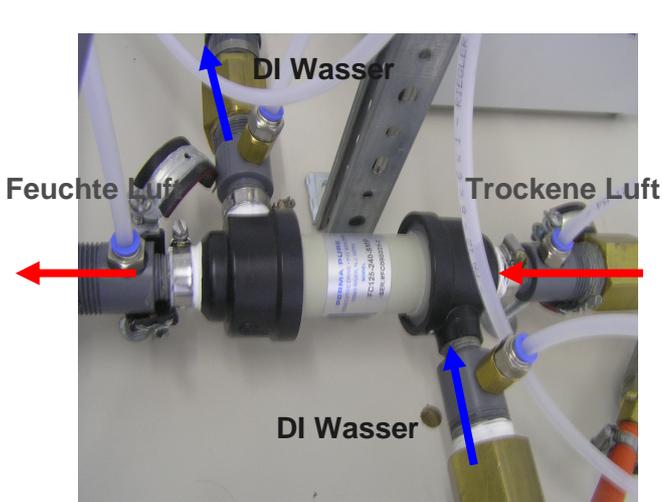


Abb. 6.5-13: Wasser außerhalb der Membran - „Shell Side“

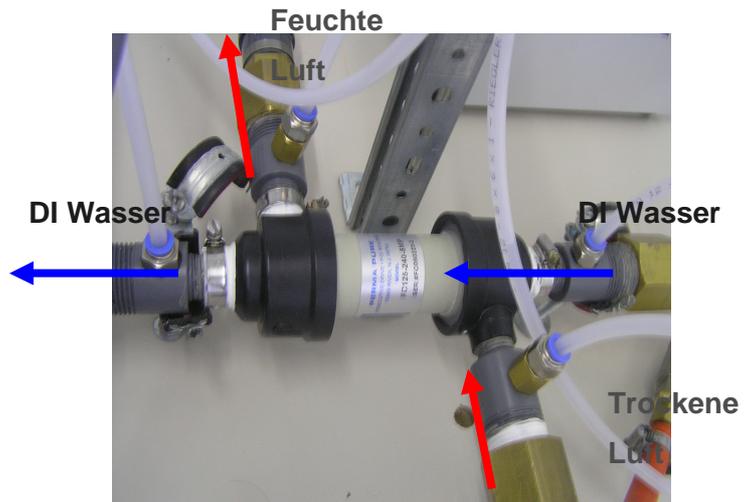


Abb. 6.5-14: Wasser innerhalb der Membran - „Tube Side“

Es wurde die Temperatur der Luft und die relative Luftfeuchtigkeit vor und nach der Membraneinheit gemessen. Die Temperatur des Wassers vor der Befeuchtungseinheit wurde über ein Thermostat eingestellt und variiert und der Einfluss der Wassertemperatur auf die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit untersucht. Weiter wurden die Druckverluste über die Membraneinheit auf Luft- und Wasserseite ermittelt. Der Testaufbau ist in Abb. 6.5-15 dargestellt.



Abb. 6.5-15: Testaufbau und Messgeräte

Vom Hersteller wird zur Luftbefeuchtung die Betriebsweise empfohlen, bei der die Luft im Inneren der Hohlfasern strömt (Luft Tube Side) und das Wasser außerhalb. Die Luftaustrittstemperatur konnte, bei einer Erwärmung des Wassers auf 25,4°C, auf 23°C gehalten werden. Dabei wurde eine relative Luftfeuchtigkeit von 95% erreicht. Der Druckverlust der Luft innerhalb der Hohlfasern betrug 88mbar und die Trocknung dauerte ca. 100 Minuten.

Es wurde geprüft, ob es möglich ist die Trocknungszeit der Membraneinheit zu reduzieren, wenn das Wasser durch die Hohlfasern geleitet wird. Diese haben ein kleineres Volumen als der umgebende Außenraum. Dabei strömte die Luft außerhalb der Hohlfasern (Luft: Shell Side). Um unter diesen Bedingungen die geforderte Luftaustrittstemperatur von 23°C zu erreichen, musste das Wasser auf 27°C erwärmt werden. Die relative Luftfeuchtigkeit betrug 93%. Der Druckverlust war mit 16 mbar deutlich niedriger und die Trocknungszeit betrug ca. 60 Minuten.

In **Tabelle 6.5-7** sind die Testergebnisse der beiden Betriebsweisen zusammengefasst.

	Luft Tube Side/ Wasser Shell Side	Luft Shell Side/ Wasser Tube Side
Benötigte Wassertemperatur [°C], um eine Luftaustrittstemperatur T=23 °C zu erreichen	25,4	27
Erhöhung des Feuchtegehalts ΔX [g H ₂ O/kg trockene Luft]	16,3	16,2
Befeuchtungsleistung [g/h]	262	261
Druckverlust [mbar] der Luft bei 240 l/min	88	16
Trocknungszeit [min]	100	60

Tabelle 6.5-7: Ergebnisse verschiedener Betriebsweisen der Membranbefeuchtungseinheit

Tests von Verdunstungs-Luftbefeuchtern mit Polyestervlies-Pads

Zur Bestimmung der maximal erreichbaren Luftfeuchtigkeit mit dem Polyester-Pad bzw. dem Glasfaser-Pad erreicht werden kann, ohne dass Wasser durch die Pads läuft wurden Versuche an dem in Abb. 6.5-16 schematisch skizzierten Testaufbau durchgeführt. Dazu wurden nacheinander ansteigende Werte für die zu erreichende absolute Feuchte im Prüfstand vorgegeben und geprüft bei welcher Luftfeuchtigkeit noch eine vollständige Verdunstung erreicht werden kann. Eine vollständige Verdunstung wird erreicht, solange keine Wasserspuren am Abfluss sichtbar sind.

Tabelle 6.5-8 enthält die Werte für die relative bzw. absolute Luftfeuchtigkeit, die als Zielwerte im Prüfstand, bei einem Druck von 950 hPa und einer Temperatur von 23°C am Auslass des Verdunsters eingestellt wurden. Sowohl mit dem Glasfaser-Pad als auch mit dem Polyester-Pad betrug die maximal erreichbare Luftfeuchtigkeit mit vollständiger Verdunstung 22 % bzw. 4,1 g H₂O/ kg Luft.

Relative Luftfeuchte RH [%]	Absolute Feuchte X [g H ₂ O/ kg Luft]
19	3,5
22	4,1
25	4,7
27	5,0

Tabelle 6.5-8: Erreichte relative bzw. absolute Luftfeuchtigkeit bei einem Druck von 950 hPa und einer Temperatur von 23°C am Auslass

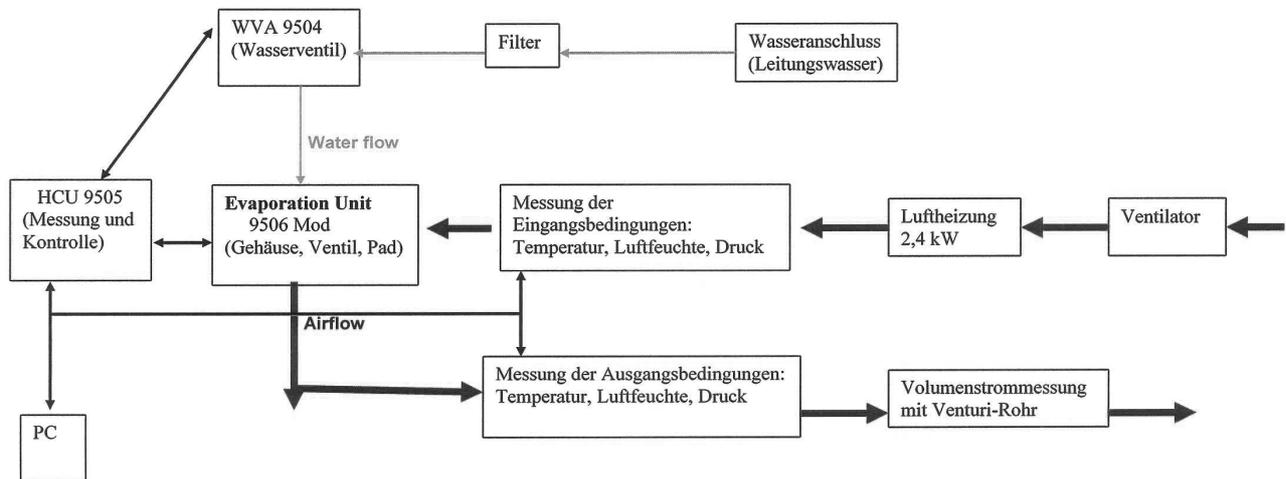
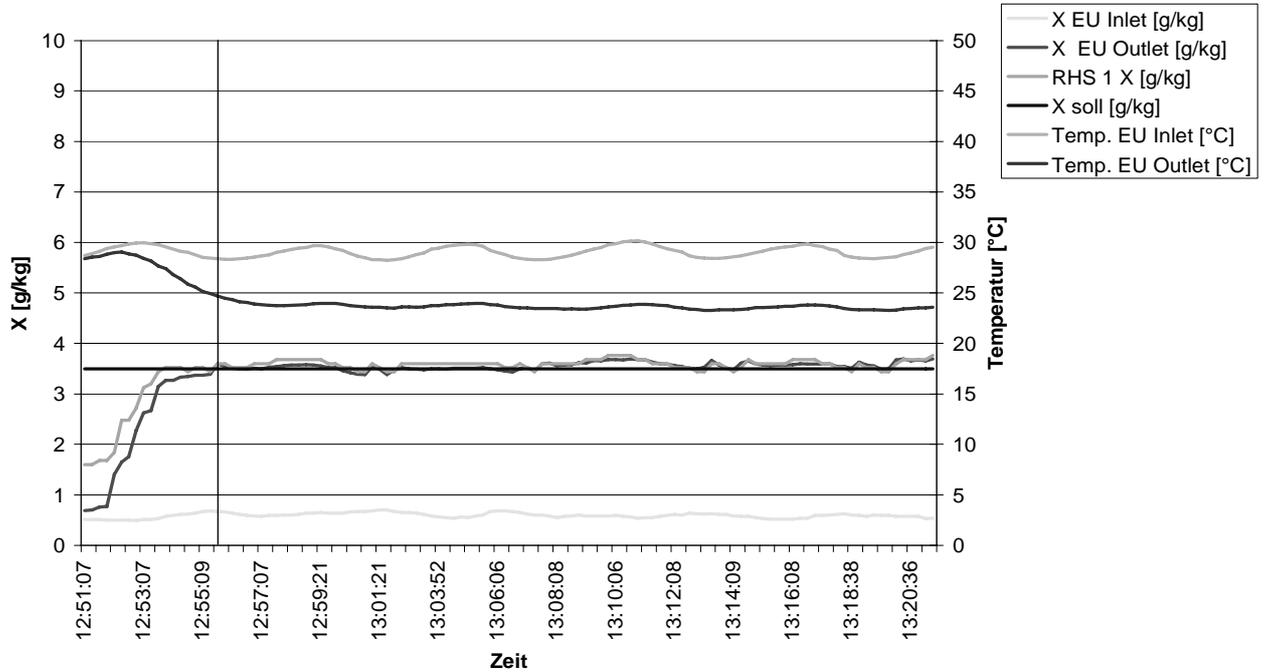


Abb. 6.5-16 Testaufbau für den Pads-Vergleich

In Abb.6.5-17 und Abb. 6.5-18 ist der zeitliche Verlauf der absoluten Luftfeuchtigkeit und der Temperatur am Eingang und Ausgang der Befeuchtungseinheit beispielhaft für einen eingestellten Sollwert von 3,5 g Wasser /kg Luft mit einem Glasfaser-Pad und

einem Polyester-Pad dargestellt. Mit dem Polyester-Pad wurde dieser Wert etwas schneller (nach 3 min) verglichen mit dem Glasfaser-Pad (nach 4 min) erreicht.

Glasfaser Pad X soll=3,5 g/kg



Polyester X soll=3,5 [g/kg]

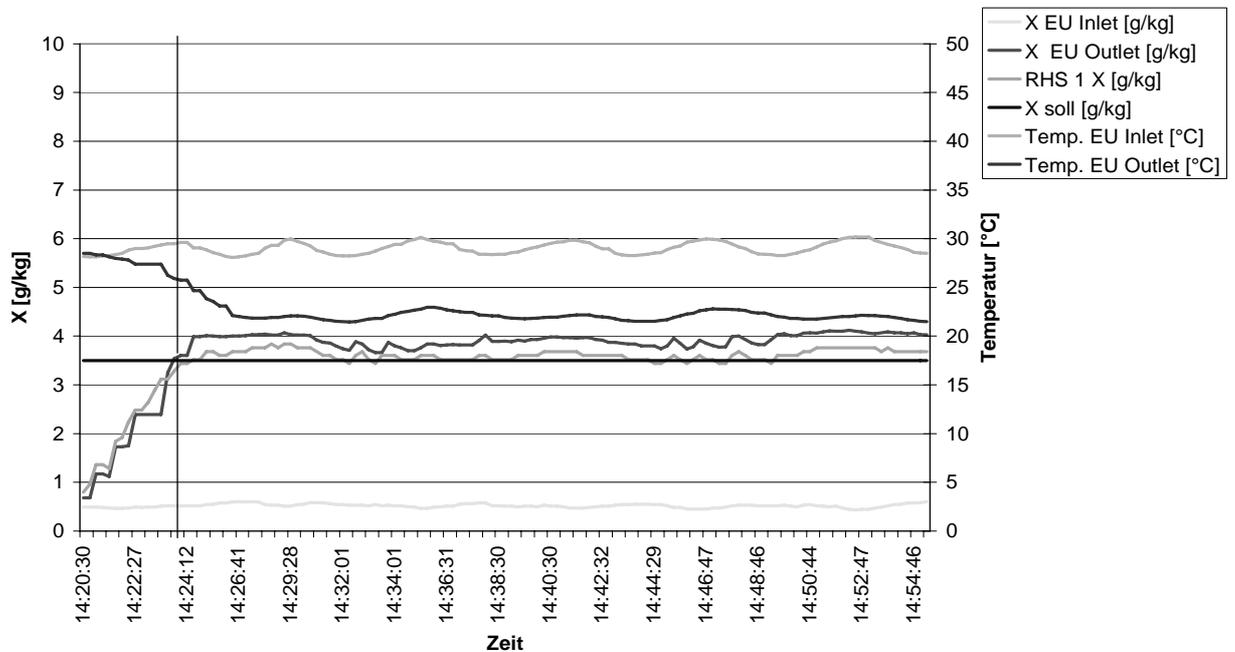


Abb. 6.5-17 und 6.5-18:

Zeitlicher Verlauf von Luftfeuchtigkeit und Temperatur am Eingang und Ausgang, eingestellter Sollwert der absoluten Luftfeuchte $X=3,5$ g/kg. Der Sollwert wurde nach 4 min (oben) bzw. nach 3 min (unten) erreicht.

Der Druckverlust des Glasfasermatten-Pads war mit 66 Pa etwas größer als der Druckverlust des Polyester-Pads.

In **Tabelle 6.5-9** sind die Charakteristiken der beiden Pad-Typen gegenübergestellt.

	Glasfaser-Pad	Polyester-Pad
Gewicht [g]	1175	835
Druckverlust [Pa]	66	62
Max. erreichte Luftfeuchtigkeit [g/kg]	4,1	4,1
Befeuchtungsleistung [g/h]	832	832
Zeit bis zum Erreichen des Sollwerts von 4,7 g/kg in [min]	6	7

Tabelle 6.5-9: Vergleich der Messdaten von Glasfaser- und Polyester-Pad

Fazit:

Die Ergebnisse zeigen, dass das Polyester Pad eine geeignete Alternative zum Glasfaser-Pad darstellt. Vorteile dieses Materials sind das niedrigere Gewicht und die Regenerierbarkeit.

Die Erfüllung der Anforderungen der Brennbarkeitsprüfungen gemäß UL 94, FAR 25.853 (Federal Aviation Regulations) und ABD.0031 ist eine weitere Voraussetzung für die Anwendbarkeit von Polyester-Pads. Diese nachweise müssen für den Anwendungsfall noch erbracht werden. Eine Prüfung nach DIN 53438 „Verhalten beim Beflammen mit einem Brenner“ wurde bereits erfolgreich durchgeführt.

6. DARSTELLUNG DES VORAUSSICHTLICHEN NUTZENS UND DER VERWERTBARKEIT DER ERGEBNISSE

Die Darstellung der Verwertbarkeit wird gemäß der schon zuvor eingeführten Aufteilung in die 5 Arbeitspakete des Projektes vorgenommen (vgl. Kap.3, Abb. 3-1).

AP1 - Modulare Galley-Kühlgeräte

Galley-Kühlgeräte, wie sie im Rahmen von AP1 behandelt wurden (ACU), kommen in Flugzeugen zum Einsatz, die über ein zentrales Kühlsystem verfügen. Von diesem Kühlsystem bezieht die ACU die benötigte Kühlenergie. Bei Airbus sind das derzeit die Flugzeugtypen A3456, A380 und zukünftig die A350, bei all diesen Flugzeugen ist AOA der Lieferant der ACU. In kleineren Flugzeugen wird auf das zentrale Kühlsystem meist verzichtet, dort muß die Kühlung der Speisen von einer autarken Einheit übernommen werden, die die Kühlleistung vor Ort erzeugt. Der im Rahmen von AP1 entstandene Prototyp zeichnet sich durch einige Innovationen aus, die für zukünftige Generationen von ACU's äußerst vorteilhaft sind, da sowohl die Kühleffizienz als auch das Gewicht verbessert werden konnten.

Derzeit steht der Nachweis der Serientauglichkeit der im Projekt erreichten Ergebnisse noch aus, daher kann keine exakte Prognose über die Verwertung abgegeben werden. Vorteilhaft ist, daß die Innovationen im wesentlichen innerhalb der bestehenden Bauräume umgesetzt werden können, so daß das Interface zum Flugzeug nicht notwendigerweise angepasst werden muß. Auf dieser Basis strebt AOA an, zumindest einen Teil der Ergebnisse in das laufende Lieferprogramm einzuführen. Dies kann z.B. im Rahmen der kontinuierlichen Produktpflege geschehen, bei einem günstigen Verlauf der weiteren Untersuchungen auch zeitlich versetzt im A350-Programm. Eine genauere Klärung ist innerhalb der nächsten 3-4 Jahre zu erwarten.

AP2 - Bidet-Toilette

Im AP2 muß die Verwertbarkeit für die drei Hauptarbeitsgebiete (s. Kap. 6.2) getrennt betrachtet werden.

Die Integration einer Bidet-Funktion in die Toilette ist derzeit in Verhandlung zwischen verschiedenen Airlines, Airbus und AOA, eine Klärung müsste in den nächsten Monaten erfolgen. In jedem Fall muß das Design nochmals überarbeitet und dann qualifiziert werden, so daß eine Serienanwendung frühestens in 2-3 Jahren erfolgen kann.

Im vorliegenden Projekt wurde nachgewiesen, daß die flexible Anbindung der Toilette an das Abwassersystem über geeignete Schläuche machbar ist, nachteilig ist ein höheres Gewicht und ein größerer Platzbedarf. Die Entscheidung für eine solche Lösung muß vom Flugzeugbauer erfolgen, derzeit liegen AOA keine diesbezüglichen Anfragen vor.

Wie bereits in Kap. 6.2 ausgeführt, ist im dritten Arbeitsgebiet, der Beschichtung der Toilettenschüssel, keine spürbare Verbesserung erzielt worden. AOA hat daher entschieden, die langjährig eingeführte Beschichtung beizubehalten.

07.Juli 2010		136
--------------	--	-----

AP3 - Modulare Sensor-Plattform für die Branderkennung

Die Arbeiten an der modularen Sensor-Plattform sind sehr erfolgreich verlaufen, sowohl das Hauptziel einer deutlichen Reduzierung der Fehlalarme als auch der modulare Aufbau in zwei Hauptbaugruppen ist, soweit die Nachweisführung im Rahmen dieses Projektes möglich war, gelungen.

Wie bereits im Fazit von Kap. 6.3 erwähnt, hat sich AOA entschlossen, dieses Projekt mit Eigenmitteln fortzuführen. Ziel ist, eine Serientauglichkeit innerhalb der nächsten 2-3 Jahre zu erreichen. Aus Sicht unseres Vertriebs werden zukünftige, von AOA angebotene Rauchmelder auf dem KABTEC-Muster basieren.

AP4 - Hochintegriertes modulares Abwassersystem

Im AP4 wurde versucht, den großen Vorteil zu nutzen, den konturkonforme Tanks bezüglich flexibel nutzbarem Bauraum im Flugzeug bieten. Es wurden aufwändige Analysen durchgeführt, um die Gewichtsnachteile, die nicht rotationssymmetrische Tanks a priori haben, genau abzuschätzen. Letztendlich haben sich diese Nachteile als zu groß erwiesen, auch, wenn eine andere Systemarchitektur mit einem Vortank und einem weitgehend unterdruckfreien Haupttank in Betracht gezogen wird. AOA und der Verbundführer Airbus sind unabhängig voneinander zur Einschätzung gekommen, dieses Thema zunächst nicht weiterzuverfolgen.

Nach dieser Entscheidung wurden in der verleibenden Projektlaufzeit Materialien und Bauweisen für zukünftige Wassertanks untersucht. Der Fortschritt dieser Arbeiten reicht noch nicht aus, um sie direkt einer Verwertung zuzuführen. AOA will aber die Arbeiten in einem zukünftigen Technologieprojekt weiterführen, wir sehen weiterhin das Potential einer neuen Bauweise mit verbesserter, integrierter Füllstandsmessung.

AP5 - Wasserversorgung zur individuellen Kabinenluftbefeuchtung

Die Verwertbarkeit der Ergebnisse dieses Arbeitspaketes hängt entscheidend von der Entscheidung ab, ob die individuelle, Passagier-bezogene Klimatisierung in zukünftigen Flugzeugen zum Einsatz kommen wird. Im Projekt wurde vom Verbundführer entschieden, eine Lösung zu untersuchen, die in den Passagiersitz integrierbar ist. Der AOA-Anteil bezog sich auf die Bereitstellung von Lösungen, mit denen eine ausreichende Wasserversorgung des Luftbefeuchtungssystems sichergestellt ist. Dieses Ziel ist im Projekt erreicht worden, die benötigte Wasserqualität kann dabei durch Befüllung mit geeignetem, beispielsweise entkalktem Wasser sichergestellt werden.

Sollte die Entscheidung für eine individuelle Klimatisierung fallen, kann aus heutiger Sicht durch ein die KABTEC-Ergebnisse aufnehmendes Entwicklungsprojekt die Serientauglichkeit der Wasserversorgung erreicht werden.

07.Juli 2010		137
--------------	--	-----

7. **DARSTELLUNG DES WÄHREND DER DURCHFÜHRUNG BEKANNT GEWORDENEN FORTSCHRITTS BEI ANDEREN STELLEN**

Dem Zuwendungsempfänger sind keine Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen bekannt geworden.

8. **DARSTELLUNG DER GEPLANTEN ODER ERFOLGTEN VERÖFFENTLICHUNGEN**

Während der Projektlaufzeit gab es keine Veröffentlichung der Vorhabensergebnisse, derzeit ist auch keine Veröffentlichung geplant.

07.Juli 2010		138
--------------	--	-----