

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks



Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

Schlussbericht zum Vorhaben

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks

Förderkennzeichen: 50JR0692

Astrium GmbH

zum
Zuwendungsantrag / Angebots- Nr. 06.2.26.0130

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks



Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

Inhaltsverzeichnis

1.	Vorhabensbeschreibung	3
1.1	Ziel des Fördervorhabens	3
1.1.1	Aufgabenstellung.....	3
1.2	Voraussetzungen für das Vorhaben	4
1.3	Planung und Ablauf des Vorhaben.....	4
1.4	Wissenschaftlicher und Technischer Stand	5
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	5
2.	Eingehende Darstellung	5
2.1	Verwendung der Zuwendung und erzielttes Ergebnisses	5
2.1.1	Fluid Management.....	6
2.1.2	Erstellung einer Strukturmechanischen Datenbank	23
2.1.3	Kapillare Steighilfen.....	27
2.1.4	Verifikations-Tests.....	39
2.1.5	Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse	49
2.2	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	51
2.3	Notwendigkeit der Angemessenheit der geleisteten Arbeit	51
2.4	Voraussichtliche Nutzen der Arbeit	51
2.5	Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	51
2.6	Geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses	52

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks



Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

1. Vorhabensbeschreibung

1.1 Ziel des Fördervorhabens

Die Europäische Satellitenindustrie kann mit ihren derzeitigen Standard-Bussen geostationäre Telekommunikations-Satelliten bis zu 10 kW Sendeleistung liefern, das entspricht einem Startgewicht von 5 Tonnen. Auf Europäischer Ebene laufen Entwicklungen für geostationäre Satelliten mit Sendeleistungen von 12 kW bis 20 kW (ALPHA-BUS) und einem resultierenden Startgewicht bis zu 9 to. Die Europäischen Satellitenhersteller sehen sich durch ihre amerikanische Konkurrenz gezwungen, zeitlich kurzfristig die vorhandenen Satellitenbusse bis zu ihrer Obergrenze zu vergrößern (12 kW, 6,5 to) um in diesem wichtigen Zukunftssegment nicht entscheidende Marktanteile zu verlieren.

Die Treibstoffmenge eines geostationären Satelliten beträgt ca. 50 - 60% des Startgewichtes. Dies bedeutet, dass die Vergrößerung der Treibstofftanks ein wesentliches Kriterium für die Anpassung der Satellitengröße an die erwarteten Marktanforderungen ist.

Im Rahmen dieser Anpassung ist es nunmehr dringend erforderlich, die bislang größten ganzmetallischen Satellitentanks Europas mit einem Volumen im Bereich 1200 - 1450 Litern/ Tank zu entwickeln. Die derzeit laufende Tank-Entwicklung in Europa (ALPHABUS) zielt auf Tankgrößen im Bereich von 1900 Litern in der 12 - 20 kW Klasse ab. Hierbei wird auch auf neue Technologien gesetzt: Spin-Formung eines sehr dünnwandigen metallischen Liners und Umwicklung dieses Liners mit CFK. Diese Technologie erfordert aber eine mehrjährige Entwicklung und ein ganz neues Tank-Konzept. Dieses Konzept lässt sich aber nicht in die vorhandenen Satellitenbusse integrieren und kommt zeitlich zu spät.

Unsere Untersuchungen haben ergeben, dass kurzfristig die Möglichkeit besteht, mit relativ begrenztem Aufwand existierende Tankkonzepte durch Schaffung der nötigen Technologien auch für den Bereich von 1200 Liter bis 1450 Liter zu entwickeln.

1.1.1 Aufgabenstellung

Ziel des Zuwendungsantrages war daher die Durchführung einer detaillierten Machbarkeitsanalyse zur Erweiterung der technologischer Grundlagen, um kurzfristig extrem große Treibstofftanks entwickeln zu können.

Hierzu wurden detaillierte Analysen zu Strukturmechanik und Treibstoff-Verhalten durchgeführt, deren Ergebnisse an einem Demonstrator-Modell, einem Original-Tank, verifiziert und in einer Datenbank zusammengestellt wurden. Das Demonstrator-Modell wurde in einer umfangreichen Versuchsserie letztlich unterworfen. Aufgabe der Versuchsserie war zu beweisen, dass funktionelle und strukturelle Analyseverfahren so präzise arbeiten, dass bei Folge-Entwicklungen auf die Zerstörung teurer Qualifikationseinheiten verzichtet werden kann.

Wie jede Machbarkeitsanalyse war auch das hier geplante Vorhaben mit Risiko behaftet und es konnte, trotz hervorragender Expertise im Hause Astrium, der erwartete technische Erfolg nicht ohne Störungen erreicht werden.

Ein wichtiges Ergebnis der Machbarkeits-Analyse war die Identifikation und Beseitigung einer Schwachstelle im Bereich Propellant Management Device (PMD), welche erst mit der zunehmenden Tankgröße in Erscheinung trat.

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks



Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

Obwohl der erfolgreiche Abschluss der Arbeiten nicht automatisch mit der Erteilung von Anschlussaufträgen von Satellitenherstellern zur Entwicklung großer Tanks verbunden ist, wurden hier bereits erste Kunden auf einem internationalen Markt gewonnen.

Damit kann das Ergebnis der Machbarkeitsanalyse als Basis gesehen werden, um in Deutschland, Europa und USA den technologischen Status auf dem Tank-Sektor zu erhalten, wie er in USA vorhanden ist und eine Konkurrenzfähigkeit zu etablieren.

1.2 Voraussetzungen für das Vorhaben

Für die Durchführung des Vorhabens war das Vorhandensein des technischen Know-Hows und der Technologie zum Bau großer Oberflächentanks im Bereich bis zu 1200 Liter im Hause Astrium eine Voraussetzung.

Es waren alle Analyse Werkzeuge im funktionellen und strukturellen Bereich vorhanden und bei den bisher gebauten Tanks verifiziert. Die Fertigungseinrichtungen, -verfahren waren im Hause Astrium und bei beauftragten Zulieferanten vorhanden und bereits bei vielen Tankprojekten erprobt.

Das Vorhandensein eines Demonstrator-Modells mit einem Volumen von 1207 Litern war ebenso eine Voraussetzung sowie Erfahrung mit solchen Tanks in Testvorrichtungen bei der IABG und Astrium in Ottobrunn.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Durchführung des Vorhabens war im Zeitraum Dezember 2006 bis Ende April 2007 geplant. In diesem Zeitraum wurden

- die Analysen zum Fluid Management
- die Analysen zur Strukturdynamik
- die Tests zur Erprobung der Kapillaren- Steighilfen und
- die Verifikationstests mit dem Demonstrator-Modell

durchgeführt.

Während der Testdurchführung zur Verifikation der Kapillaren Steighilfen ergab sich die Notwendigkeit einer Modifikation zur Erhöhung der mechanischen Festigkeit an den Befestigungen der Vanes. Hierzu wurde ein neuer Schuh zur Vane Befestigung entworfen. Im weiteren Verlauf der Verifikationstests auf Tankebene wurde festgestellt, dass die maximale Belastung im PMD Bereich, d.h. der Venting "Tube", nicht bei dem halbvollen Tank, sondern beim vollen Tank erreicht wird. Insbesondere wurde der Einfluss des vergrößerten Tanks bei diesem Test ersichtlich. Aus diesem Grunde ist eine Verbesserung der Venting Tube Halterung und -führung in Entwicklung gegangen.

1.4 Wissenschaftlicher und Technischer Stand

Bei der Durchführbarkeitsstudie wurde auf den technologischen Stand der Spacebus Tankfamilie aufgesetzt.

Grundlage für die Ausführung der Kapillaren Steighilfen war das OST 2 PMD, welches in der Spacebus Tankfamilie eingesetzt wurde.

Bei der Berechnung des funktionellen Verhaltens wurde auf Grundlagenversuche aufgesetzt, die zum Einen im ZARM Institut / Fallturm Bremen durchgeführt und zum Anderen in einem Mini-Texas Experiment aus dem Jahre 1995 ermittelt wurden.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Bei der Analyse des statischen und dynamischen Struktur-Verhaltens wurde mir dem

- Ingenieur-Büro Reimerdes und Dieker in Bremen

eine Zusammenarbeit vereinbart.

Für die Ausführung der mechanischen Umwelttests wurden die Test-Labore von

- IABG in Ottobrunn und
- Astrium Ottobrunn

eingeschaltet.

2. Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung und erzieltet Ergebnisse

Die Zuwendungs-Mittel wurden gemäß dem Zuwendungsantrag für folgende Arbeitspakete verwendet:

1. Fluid Management
2. Erstellung einer Strukturmechanischen Datenbank
3. Kapillare Steighilfen
4. Verifikations-Tests
5. Projekt office

Die durchgeführten Arbeiten sowie die erzielten Ergebnisse sind in den folgenden Abschnitten beschreiben.

2.1.1 Fluid Management

Die neue Generation der 1200 L bis 1450 L Tanks zeichnet sich dadurch aus, dass sie hinsichtlich ihres Tankvolumens zu den größten in Europa zu entwickelnden Satellitentanks zählen. Eine Vergrößerung der Tankkapazität hat jedoch direkten Einfluss auf das Fluid Management zur Förderung des Treibstoffes zu den Triebwerken. Ziel des Fördervorhabens war es im Rahmen der Machbarkeitsstudie die Technologien für das erweiterte Fluid Management zu schaffen um das Risiko für die nachfolgende Entwicklung entsprechend großer Tanks bis 1450 Liter zu minimieren. Nachfolgend sind die verschiedenen Arbeiten auf diesem Gebiet zusammengefasst.

2.1.1.1 Einführung

Der vergrößerte 1450 L Tank mit OST-2 PRR (propellant refillable reservoir) ist in unterer Abbildung aufgeführt.

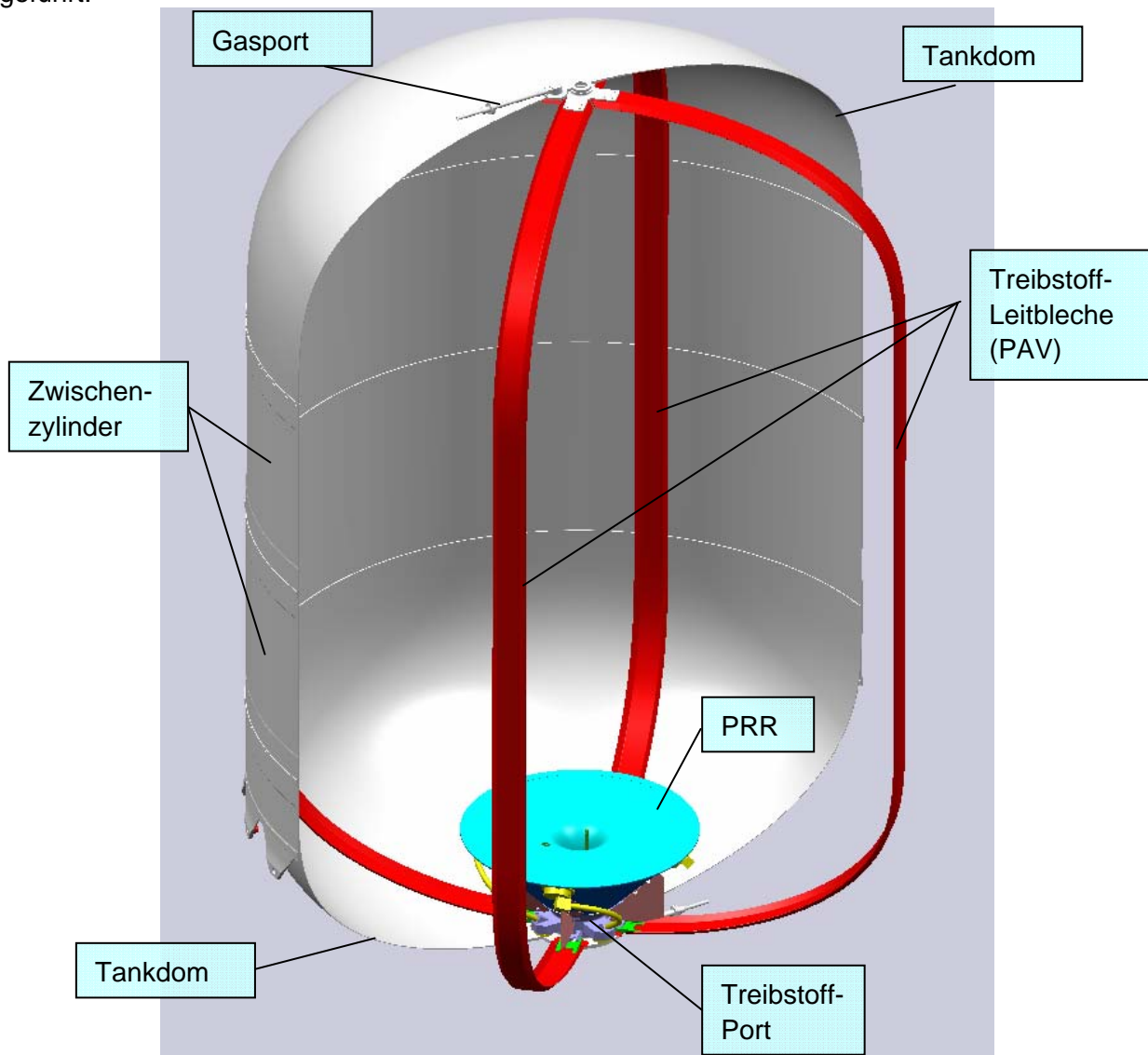


Abbildung 1: Schematische Beschreibung der Komponenten des OST26

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks



Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

Für das Fluid Management innerhalb des Tanks ist das PMD bestehend aus dem OST-2 PRR sowie den vier Treibstoff Leitblechen (PAV - propellant acquisition vanes) verantwortlich. Bei der verlängerten Tankkonfiguration ist folglich eine Verlängerung der Treibstoffleitbleche vorzunehmen, welches bezüglich des Fluid Managements berücksichtigt werden muss. Neben der Änderungen der Tankgeometrie (Tanklänge) treten für große Satelliten neue erhöhte Missionsanforderung, so dass sich die Anforderungen an die verwendeten Tanktechnologien bzgl. des Fluid Managements erhöhen.

Folgende Kriterien sind von besonderer Bedeutung und wurden im Rahmen des Vorhabens behandelt:

Wiederfüllbarkeit des PRR: Aufgrund des größeren Tankvolumens ergeben sich wie erwähnt verlängerte Treibstoffleitbleche, was einen Einfluss auf die Wiederbefüllzeit des PRRs hat. Generell wird davon ausgegangen, dass sich der Treibstoff in maximaler Entfernung vom Reservoir befindet. Die zusätzliche Länge der kapillaren Steighilfen führt zu zusätzlichen Druckverlusten, die innerhalb des zur Verfügung stehenden Gesamtbudgets berücksichtigt werden muss. Außerdem ist der variable Abstand der Leitbleche von der Tankwand in der Analyse zu beachten. Ziel des Vorhabens war es die Verlängerung des Tanks auf die Wiederbefüllzeit zu untersuchen und zu bestimmen.

Förderraten: In der Satellitenklasse 5.5t bis ALPHABUS sind höhere Massenströme und höhere Fördervolumen notwendig, die bei der Auslegung bzgl. des Fluid Management berücksichtigt werden müssen, was u.a. Ziel des Vorhabens war.

Treibstoff- Restvolumina: Die Vergrößerung des Tankvolumens ausgehend von den bestehenden Tanks für zu einer größeren (absoluten) Menge and nicht abziehbarem Treibstoff in den Tanks, welche als Restvolumen bezeichnet wird. Die absolute Menge Restmenge nimmt zwar zu, jedoch die auf das Tankvolumen bezogene prozentuale Restmenge kann sogar abnehmen. Die Bestimmung der Restmengen für die vergrößerten Tanks ist ein weiteres Ziel des Vorhabens.

Treibstoffschwappen: Schwappvorgänge des Treibstoffes sind von besonderer Bedeutung z.B. während des Transports des befüllten Satelliten zum Startplatz, während der Hauptschubphase des Trägers sowie unter Orbitbedingungen. Das Treibstoffschwappen ist aus funktioneller Hinsicht sowie aus strukturmechanischer Hinsicht wichtig, da durch das Schwappen des Treibstoffes die erzeugten Kräfte die Struktur insbesondere bei einer Vergrößerung des Tankvolumens belasten. Weiterhin sind z.B. während des horizontalem Transports des gefüllten Tanks Schwappbewegungen zu vermeiden, welche das Eindringen von Gas in das PRR ermöglichen. Bei Treibstoffschwappen unter Orbitbedingungen muss die Reorientierungszeit berücksichtigt werden, welche notwendig ist, damit nach einer Lagekorrektur alle Treibstoffleitbleche wieder zum Füllen des PRRs beitragen. Ziel des Vorhabens war folglich auch die Problematik des Treibstoffschwappens und deren "Eindämmung" besonders zu betrachten.

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks

Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

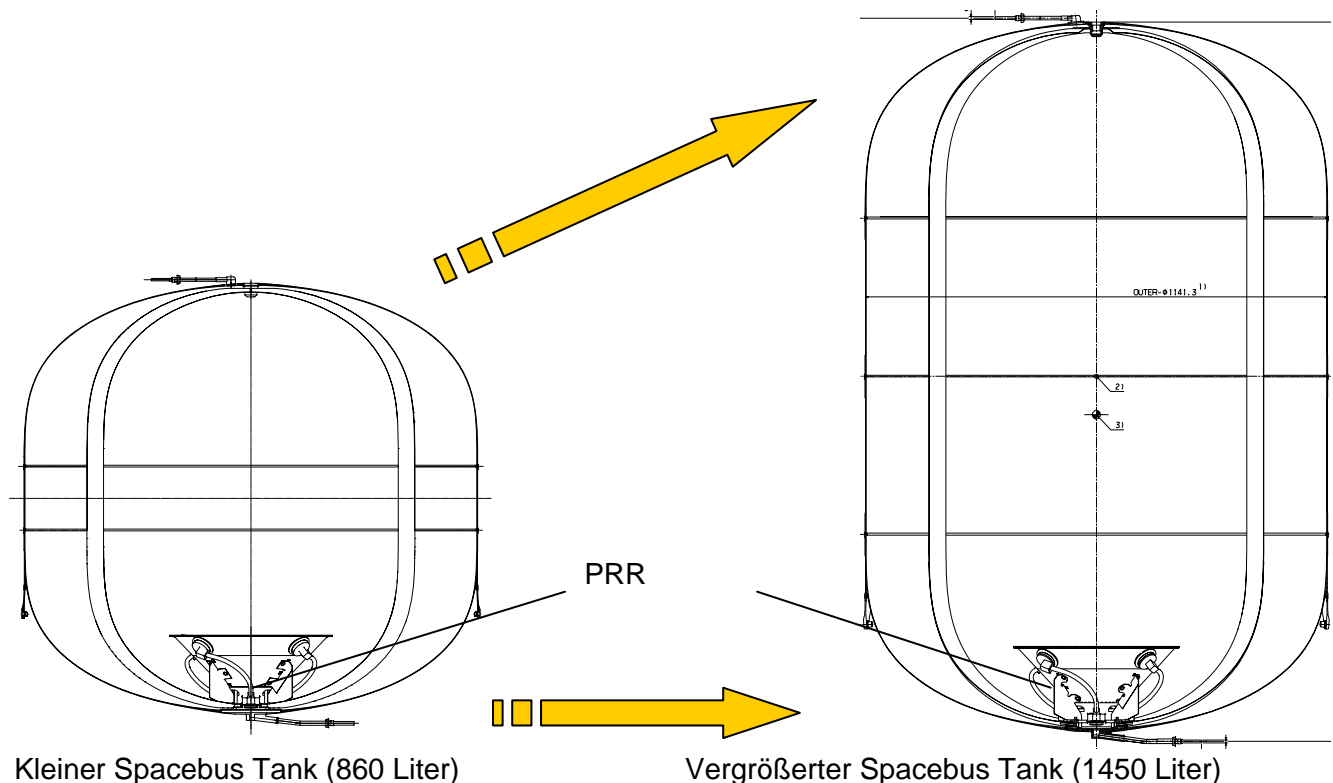


Abbildung 2: Schematische Darstellung bzgl. der Vergrößerung des Tankvolumens durch Verlängerung des Zwischenzylinders. Links ist beispielhaft ein kleiner Spacebus Tank mit einer Kapazität von 860 Litern dargestellt während rechts die maximal vergrößerte Konfiguration des OST-26 Tanks mit 1450 Litern aufgeführt ist.

Beim Start des Vorhabens bestand das Risiko, dass entweder Design-Modifikationen am Treibstoff-fördersystem notwendig werden, oder dass die analytischen Programme verbessert werden müssen zwecks verbesserter Flüssigkeitsmodellierung unter Mikro-g Bedingungen im Weltraum. Aus diesem Grund sollten im Rahmen des Vorhabens die Technologien geschaffen werden, um das Risiko der nachfolgenden Entwicklung zu minimieren.

2.1.1.2 Wiederbefüllung des PRR

Die Wiederbefüllung des PRRs nach Manövern erfolgt während Phasen mit geringer Beschleunigung durch die an der Tankwand entlanglaufenden Treibstoffleitbleche. Durch die Vergrößerung des Tankvolumens, einhergehend mit der Verlängerung der Treibstoffleitbleche, ist eine Neuberechnung der Wiederbefüllzeit des PRRs notwendig geworden. Die Ermittlung der Wiederbefüllzeit basiert auf die Bernoulli-Gleichung für instationäre inkompressible Strömungen und wurde mit verschiedenen Model-Tests unter Schwerelosigkeit validiert.

Der kritische Fall (längste Wiederbefüllzeit) wird durch folgende Bedingungen beschrieben:

- Geringer Tank-Füllgrad
- Treibstoff: MMH kritischer als NTO
- Geringste Temperatur (bzgl. Stoffeigenschaften der Treibstoffe)

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks

Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

- Geringster Leitblechabstand zur Tankwand bzgl. der anwendbaren Toleranzen.

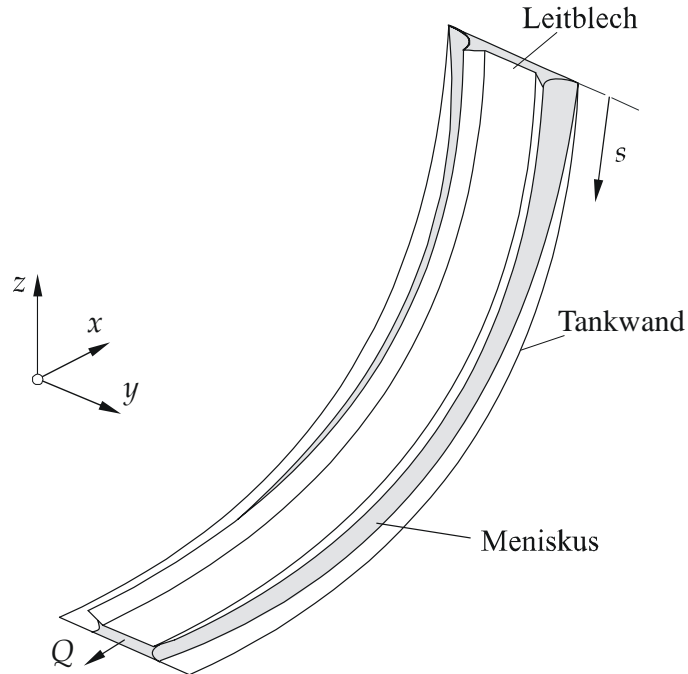
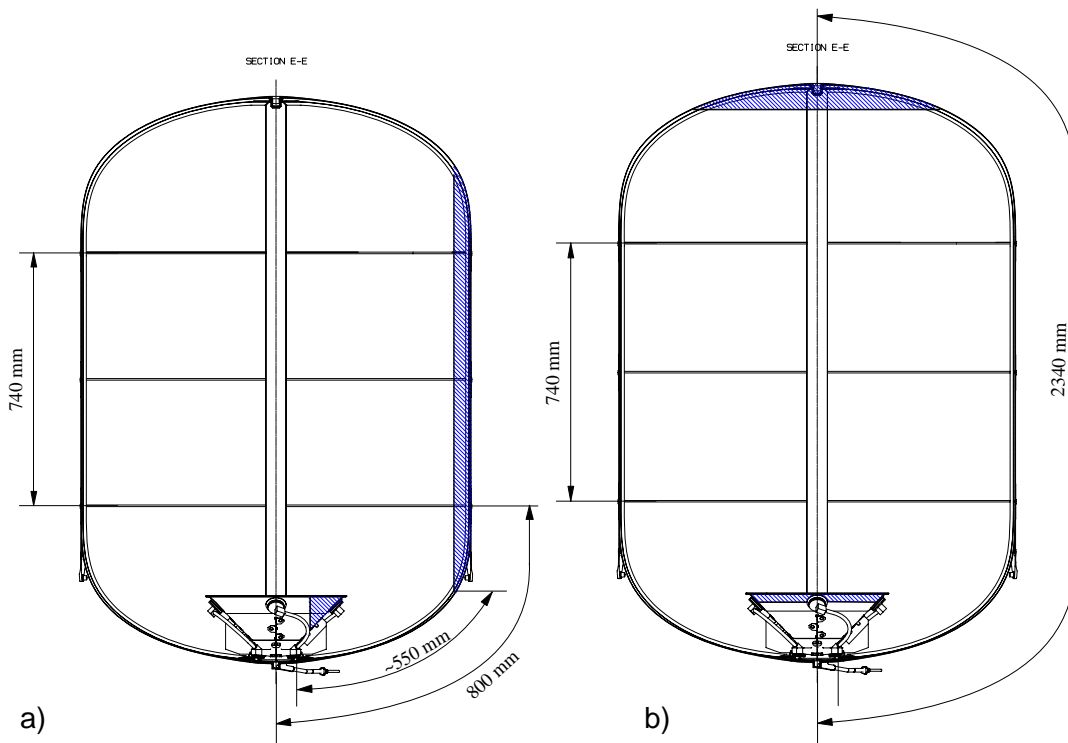


Abbildung 3: Prinzipielle Darstellung der Wirkungsweise der Treibstoff-Leitbleche. Der Volumstrom Q wird durch die Kapillarwirkung des PRRs von des Leitblechen abgezogen.



Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks



Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

Abbildung 4: Wiederbefüllung des PRRs nach einer Lagekorrektur a) mit seitlichen Beschleunigungen b) nach einer Lagekorrektur mit Beschleunigungsrichtung in positiver Längsachse

Der Wiederbefüllvorgang des PRRs wurde verschiedene Bedingungen simuliert (Treibstoffe, Wandabstand der Leitbleche, Temperaturen sowie Berücksichtigungen vorheriger Beschleunigungsprofile). Untere Abbildungen zeigen die Ergebnisse der Wiederbefüllrechnung des PRRs (6.5 Liter von 6.6 Litern) für Worst-Case Bedingungen. Es zeigt sich, dass unter Worst Case Bedingungen das PRR für die größten Tanks nach einer Zeit von ca. 2h wiederbefüllt ist. Übliche Forderungen zur Wiederbefüllzeit von Treibstoff-Reservoirs liegen im Bereich von 8h (Spacebus Programm), 3h (Alphabus Programm), 2h (Eurostar Programm), wobei unterschiedliche abziehbare Treibstoffmengen und PRR Volumen vorliegen.

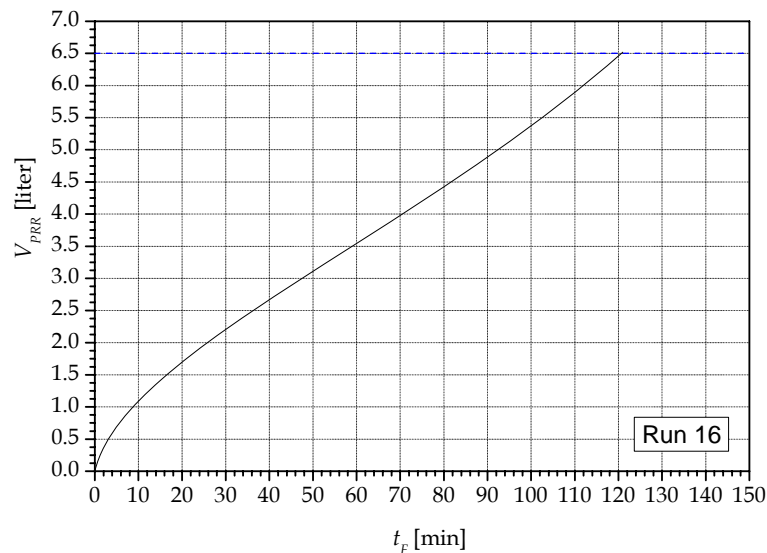


Abbildung 5: Ergebnis der Wiederbefüllrechnung des PRRs (6.5 Liter von 6.6 Litern) für Worst-Case Bedingungen. Zusätzlich zur Füllzeit von 120 Minuten muss noch eine Reorientierungszeit von 5 Minuten zur vollständigen Benetzung aller Leitbleche addiert werden.

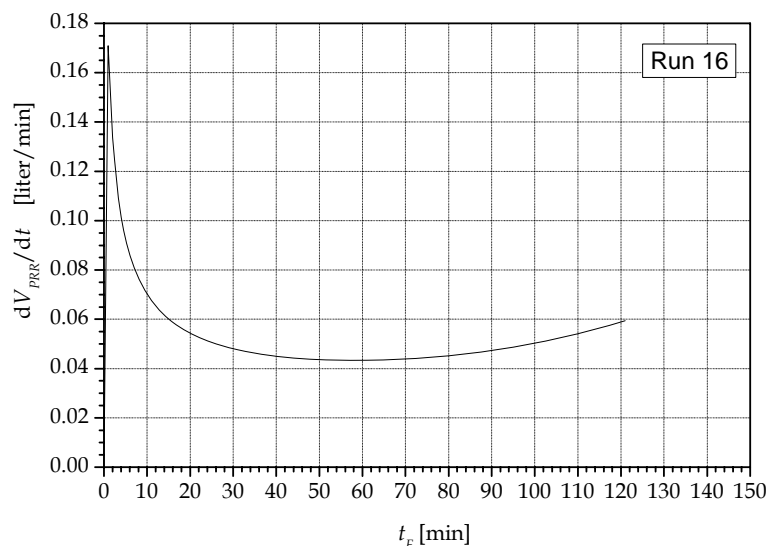


Abbildung 6: Ergebnis der Wiederbefüllrechnung des PRRs bzgl. des auftretenden Füllrate für Worst Case Bedingungen.

2.1.1.3 Restvolumina

Das vergrößerte Volumen der Treibstofftanks bis maximal 1450 Liter erforderte auch eine Neuberechnung der zum Lebensende zu berücksichtigenden Restvolumina im Tank. Die verschiedenen Anteile am Restvolumen sind in unterer Tabelle kurz aufgeführt sowie in Abbildung 7 schematisch dargestellt.

Nomenklatur	Beschreibung
V_1	Restvolumen entlang der Treibstoff-Leitbleche
V_2	Restvolumen im Rohrsystem, im PRR-Sumpf sowie der Siebadapter.
V_3	Restvolumen in den Leitblechen innerhalb des PRRs
V_4	Restvolumen in der Konusecke des PRRs
V_5	Restvolumen ausserhalb des PRRs
V_6	Restvolumen an der benetzten Tankwand

Tabelle 1: Definition der Anteile am Restvolumen innerhalb des Tanks zum Ende der Satellitenmission, siehe auch Abbildung 7

Die Gesamtmenge des Restvolumens im Treibstofftank hängt von der Größe des Tanks ab, da die Volumen V_1 (Restvolumen entlang der Treibstoff-Leitbleche) und V_6 (Restvolumen an der benetzten Tankwand) proportional entsprechend eingehen. Die anderen Anteile sind durch das PRR bedingt und sind für jede Tankgröße (bei verschiedenen Höhen des Zwischenzylinders) gleich.

Im Generellen wird vom Tankhersteller eine maximale Restmenge im Bereich $0.3\% \leq \text{Restmenge} \leq 0.5\%$ (als Prozentsatz des Tanknettovolumens) gefordert, welche für die verschiedenen Tankgrößen im

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks



Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

Bereich von 700 Litern bis hin zum vergrößerten Volumen von 1450 Litern durch neue Analysen nachgewiesen werden konnte.

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks

Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

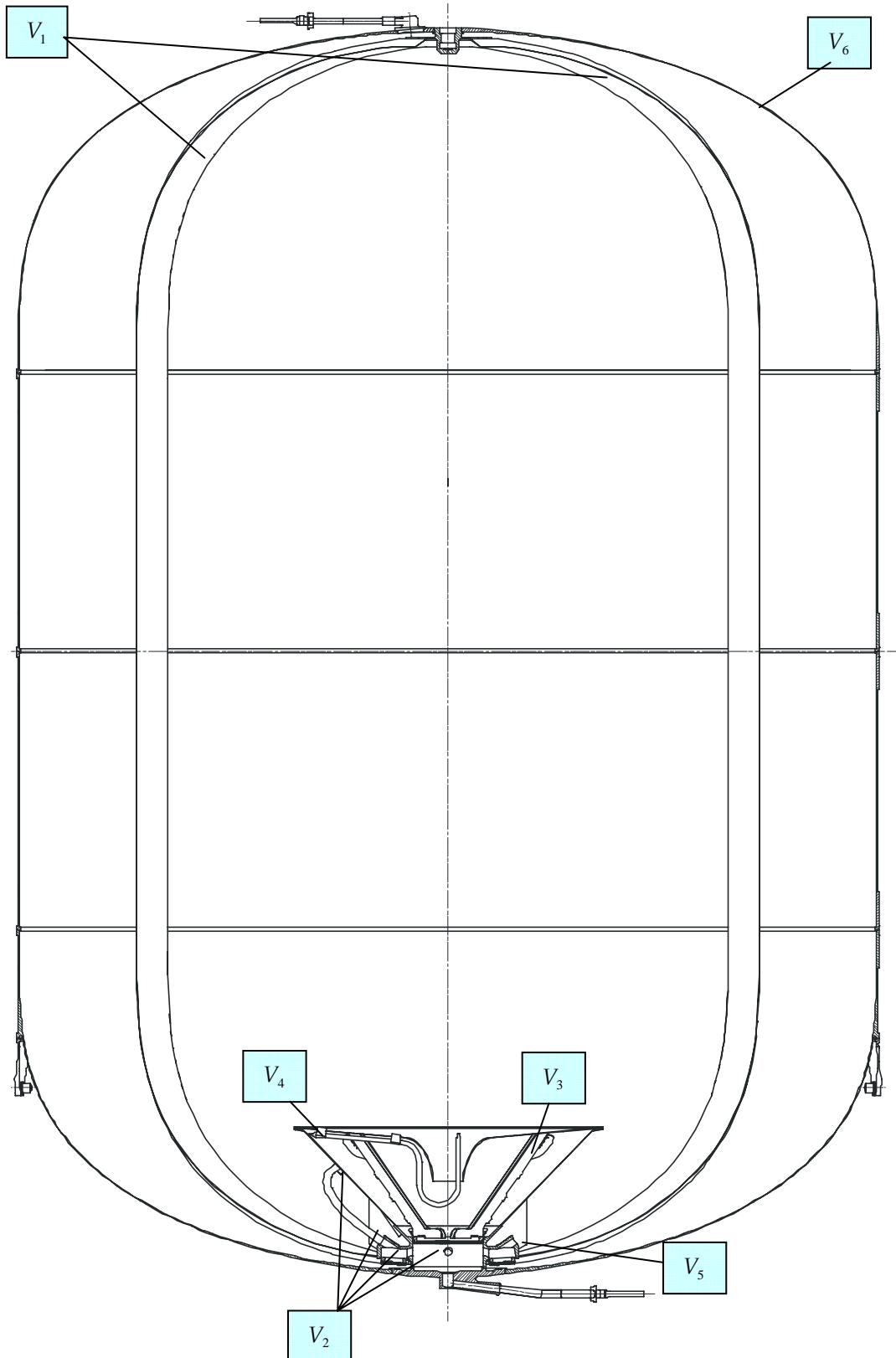


Abbildung 7: Definition der Anteile am Restvolumen zum Ende der Satellitenmission

2.1.1.4 Treibstoff-Schwappen beim horizontalem Transport

Eine besondere Problematik ist der horizontale Transport des teilweise gefüllten Tanks zum Startplatz (z.B. Proton, Sea Launch, Dnepr, ...). Die Satelliten-Primes fordern vom Tanklieferant größtmögliche Flexibilität bzgl. der Tankfüllgrade während des Transports. Einschränkungen hinsichtlich des Transportes im horizontalen Zustand ergeben sich durch den minimalen Tankfüllgrad der eingehalten werden muss, um das Eindringen von Gas in den Reservoir-Behälter am Tankauslass zu verhindern. Für die vergrößerten Tankversionen werden zwei Fälle unterschieden:

1. Proton Launch horizontal Transport per Eisenbahn
2. Sea Launch horizontal Transport per Schiff.

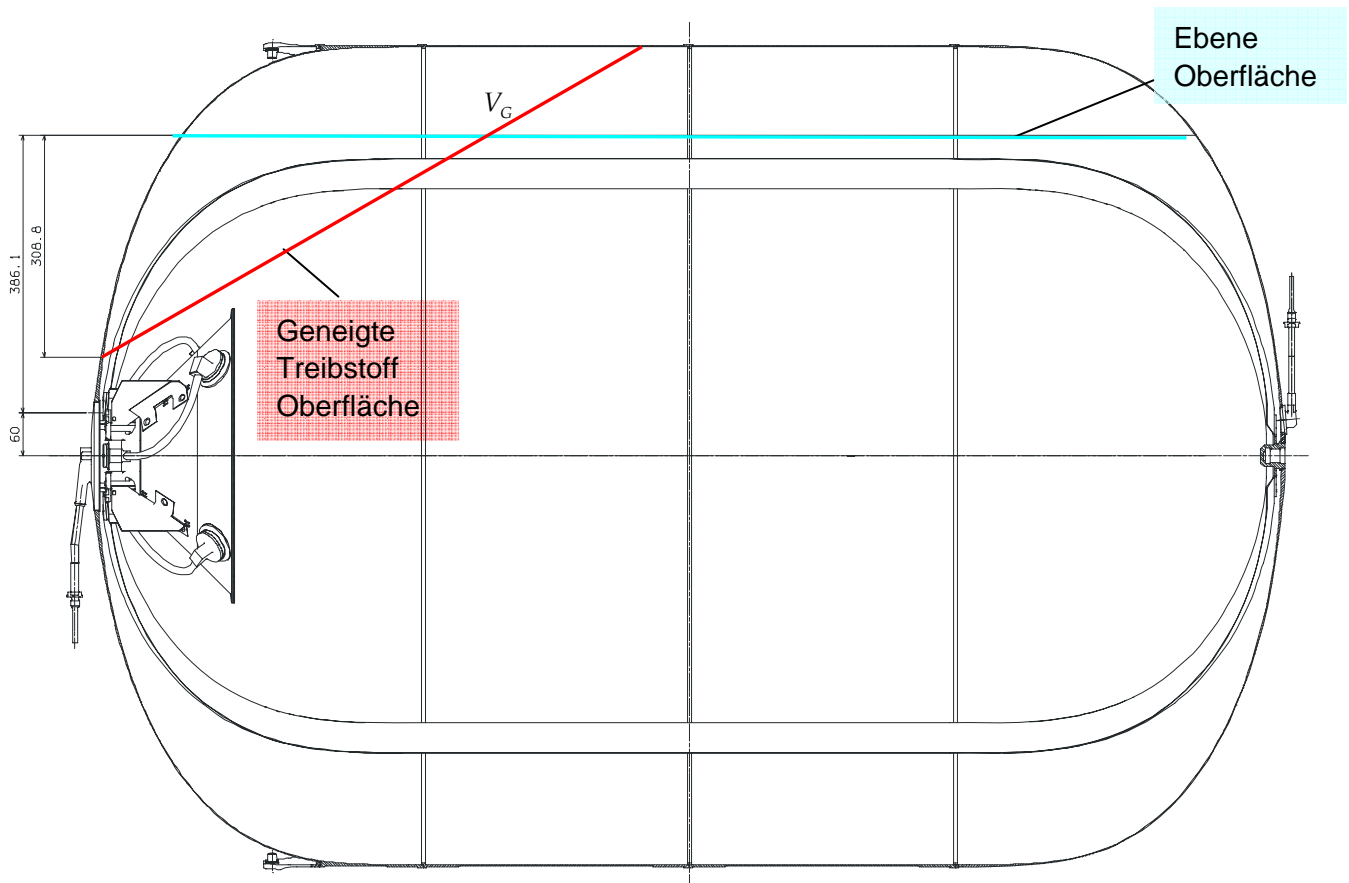


Abbildung 8: Maximale Auslenkung der Treibstoffoberfläche beim horizontalen Transport des Satelliten mit gefülltem Tank (1450 Liter) für den Sea Launch Träger. Der Füllgrad beträgt 95% bei einer maximalen Neigung der Oberfläche von 30 Grad. Während des horizontalen Transports gilt es zu vermeiden, dass Gas in das PRR eindringt.

Der Sea-Launch Fall kann per Analyse der quasi-statischen Oberflächen durch Verwendung der vorliegenden CATIA Strukturmodelle der vergrößerten Tanks erfolgen. Dabei wird die ebene Treibstoff-Oberfläche bei einem gewählten Füllstand zunächst unter horizontaler Ausrichtung bestimmt. Anschließend wird der Treibstoff quasi-statisch um den maximal möglichen Winkel beim Transport ausgelenkt. Dabei muss bezüglich des Eindringens von Gas in das PRR-Innere ein gewisser Sicherheits-

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks



Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

faktor nachgewiesen werden (siehe Abbildung 8), wobei für typische maximale Füllgrade von 95% ein Sicherheitsfaktor von mindestens 2 für die vergrößerten Tanks innerhalb des Vorhabens nachgewiesen werden konnte.

Für den Proton-Launch Fall konnte bisher nur eine recht grobe numerische Modellierung durchgeführt mit dem Software-Paket Flow3d werden. In dem Vorhaben wurden nun für die vergrößerten Tanks die Flow3d Modelle in höher Auflösung erstellt um eine wesentlich verbesserte Abschätzung des Treibstoffverhaltens zu generieren. Untere Abbildungen zeigen die dynamische Analyse des Treibstoffverhaltens in den Treibstofftanks während des horizontalen Transports für Proton Launch bei zwei verschiedenen Füllständen. Dabei zeigt sich, dass keine Gefahr besteht, dass Gas in das Innere des PRRs eindringen kann. Diese Aussage besonders für verschiedene Füllstände ist wichtig für die Satelliten-Primes bzgl. der Flexibilität zur Anwendung verschiedener Füllstände.

Hierbei ist anzumerken, dass zunehmend von Seiten der Satelliten-Primes gefordert wird, dass ein horizontaler Transport der teilweise gefüllten Tanks auch bei möglichst geringen Tankfüllgraden (wie z.B. 50 %) durchgeführt werden kann, wie z.B. im Alphabus-Programm gefordert. Diese Möglichkeit bietet das derzeitige OST-2 PRRs noch nicht, lässt sich jedoch durch eine Weiterentwicklung des OST-2 PRRs bzw. durch eine Fertig-Entwicklung des Astrium ST OST-4 PRRs erzielen.

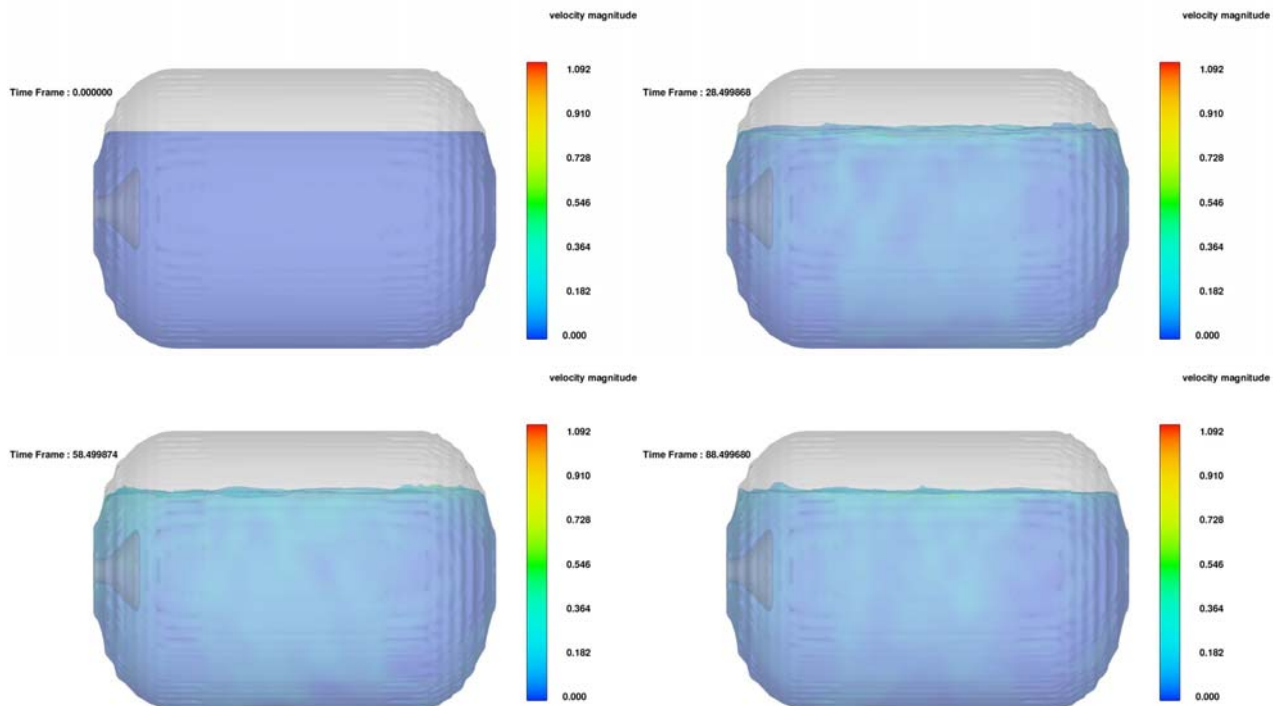


Abbildung 9: 1450 Litres tank with Proton horizontal transport with fill level of $FL = 85\%$. Evolution of free surface in y-z plane ($x=0$) for different points of time during the horizontal transport by rail applying random vibration loads

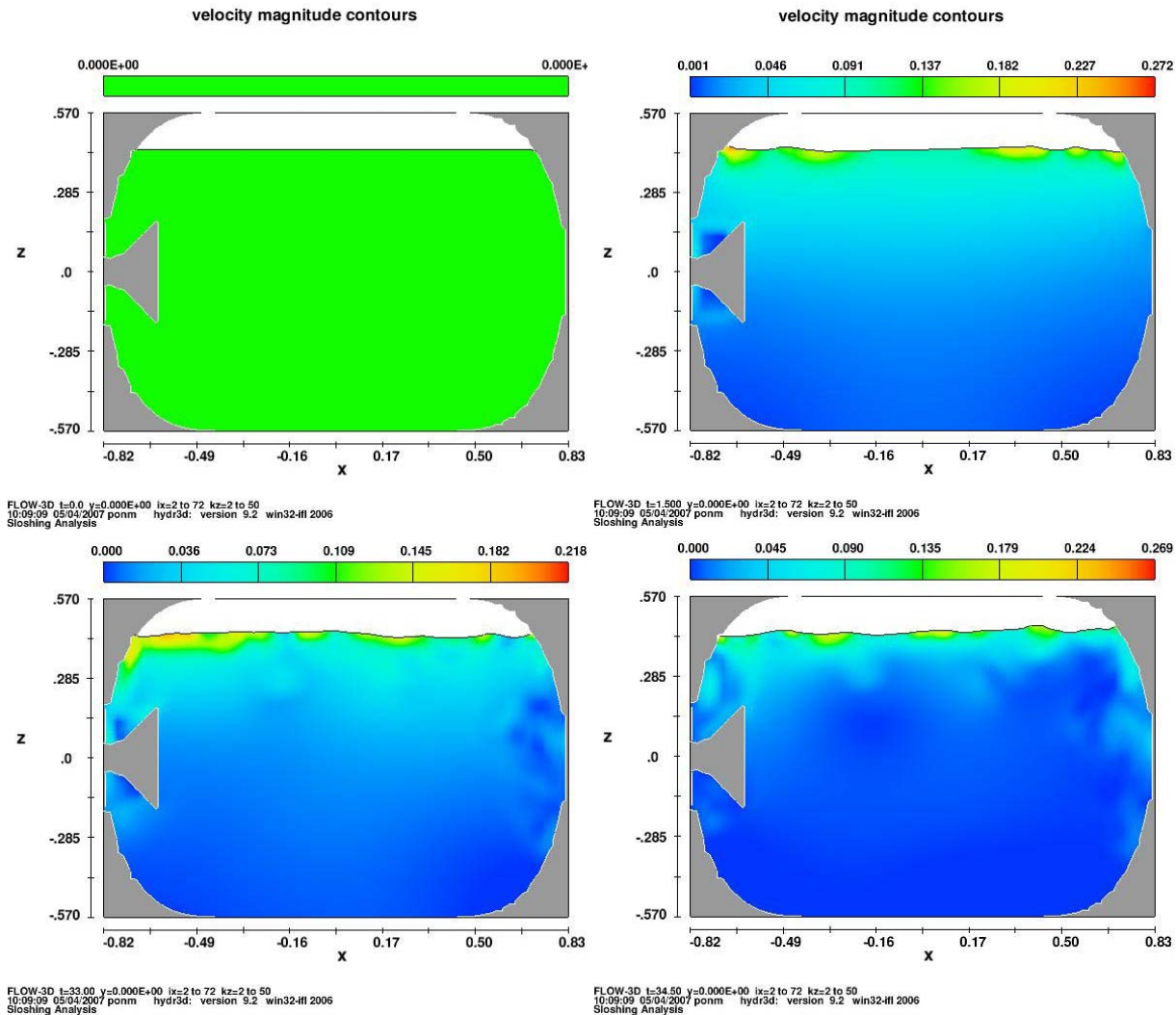


Abbildung 10: 1450 litres tank with Proton horizontal transport. Evolution of free surface in x-z plane ($y=0$) for different points of time during the horizontal transport by rail applying random vibration loads

2.1.1.5 Schwappverhalten während verschiedener Missionsphasen

Durch den sehr großen Anteil des Treibstoffgewichts an der Gesamtmasse des Satelliten (etwa 60%), sind folglich die auftretenden Schwappkräfte und die Wechselwirkung mit dem Lageregelungssystem (der Träger-Stufe und des Satelliten) daher von grundlegender Bedeutung bei der Systemauslegung. Besondere Kenntnisse zum Beispiel der Schwapp-Eigenfrequenzen und der Flüssigkeits-Dämpfung sind notwendig und werden generell in einem äquivalenten, z.B. Feder-Masse-Dämpfer Modell berücksichtigt.

Ziel des Vorhabens war es daher auch, Modelle für das Schwappverhalten während dieser Missionsphasen für die unterschiedlichen Füllgrade zu generieren. Die Generierung äquivalenter Modelle aus den numerischen Simulationen ist aber im Allgemeinen sehr zeitaufwendig. Ziel der Untersuchung ist es, durch neu zu generierende Software-Programme die mathematischen Zusammenhänge mög-

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks



Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

lichst direkt herzuleiten um wesentlich detaillierter Vorhersagen treffen zu können. Daneben sind weiterhin numerische Analysen mit dem Tool Flow3D zum Schwappverhalten während und nach Lagekorrektur Manövern durchgeführt worden.

Reorientierungs-Zeit nach Lagekorrektur-Manöver:

Unteres Beispiel zeigt die Durchführung einer Flow3d Analyse zur Reorientierung des Treibstoffes während und nach einem Lagekorrektur-Manöver mit seitlicher Beschleunigung. Das Gas in unteren Abbildungen ist blau und die Flüssigkeit durchsichtig dargestellt, um das Verhalten der Flüssigkeit besser verfolgen zu können. Die konstante seitliche Beschleunigung beginnt zum Zeitpunkt $t = 50\text{sec}$ und endet bei $t = 150\text{sec}$.

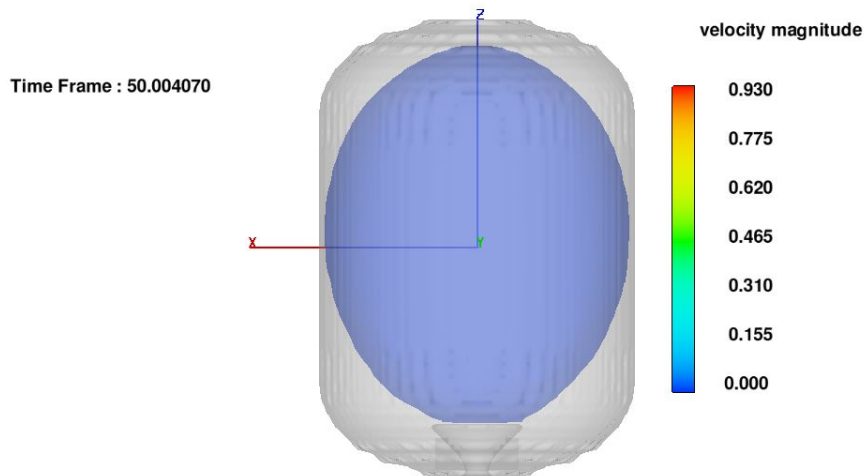


Abbildung 11: Treibstoffkonfiguration zum Zeitpunkt $t = 50\text{sec}$. Das Gas ist blau und der Treibstoff ist durchsichtig dargestellt.

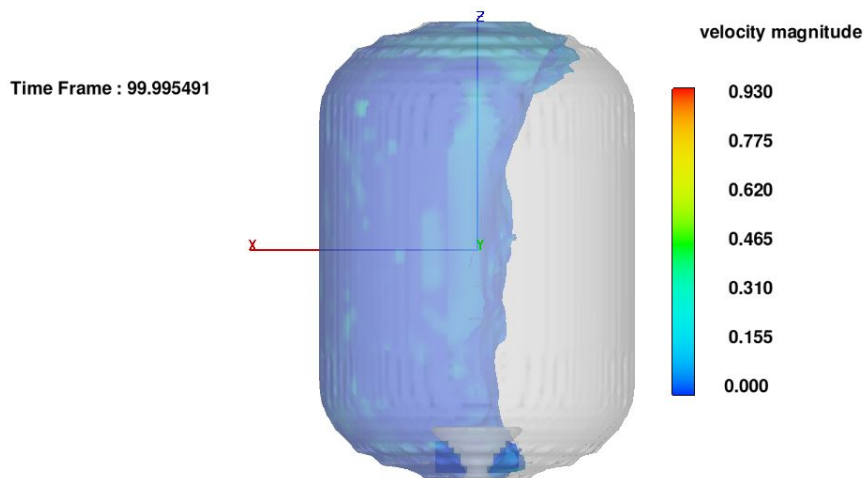


Abbildung 12: Treibstoffkonfiguration zum Zeitpunkt $t = 100\text{sec}$. Das Gas ist blau und der Treibstoff ist durchsichtig dargestellt.

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks

Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

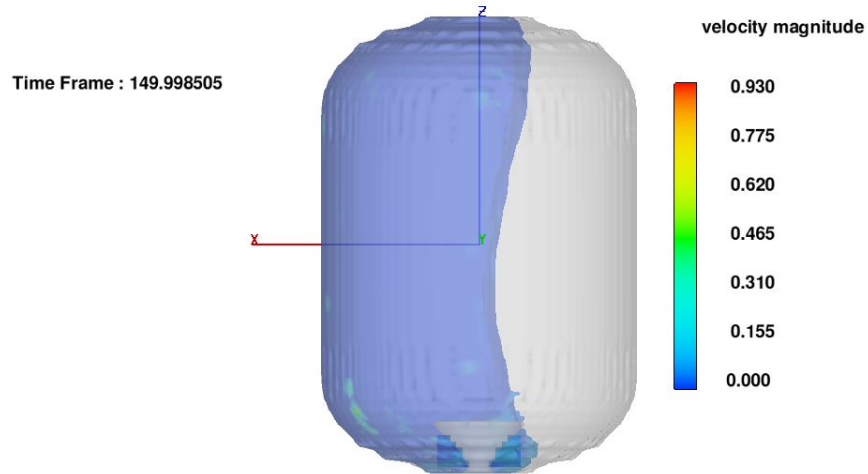


Abbildung 13: Treibstoffkonfiguration zum Zeitpunkt $t = 150 \text{ sec}$. Das Gas ist blau und der Treibstoff ist durchsichtig dargestellt.

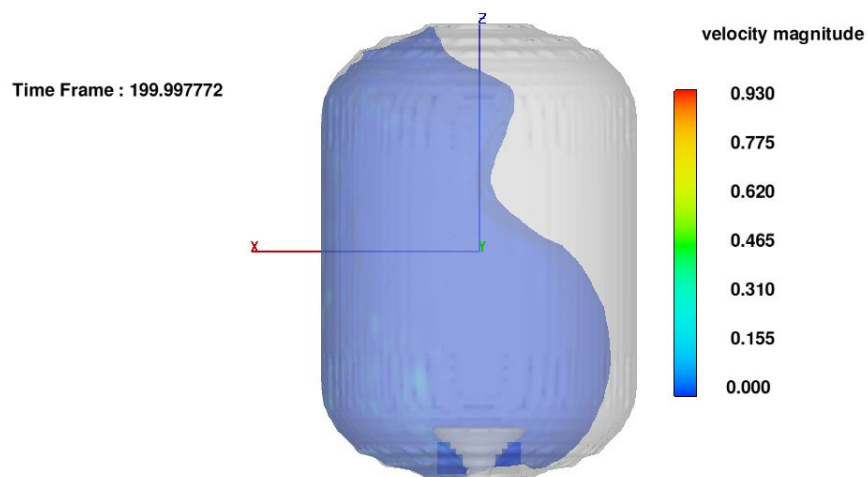


Abbildung 14: Treibstoffkonfiguration zum Zeitpunkt $t = 200 \text{ sec}$. Das Gas ist blau und der Treibstoff ist durchsichtig dargestellt.

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks

Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

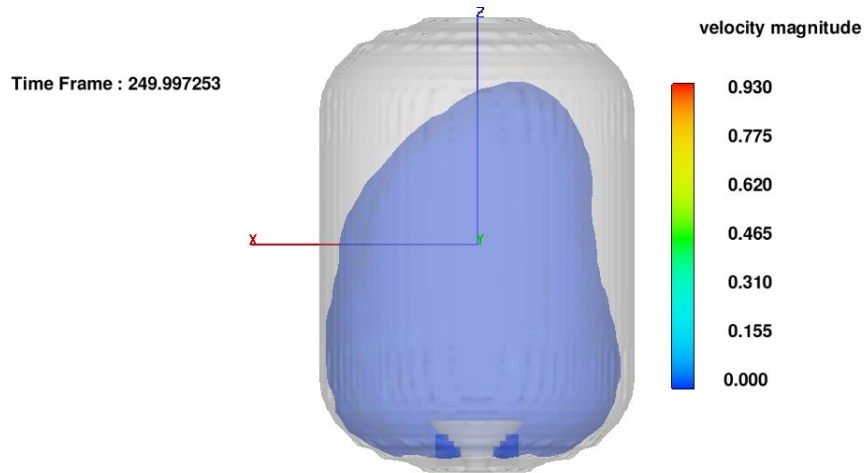


Abbildung 15: Treibstoffkonfiguration zum Zeitpunkt $t = 250 \text{ sec}$. Das Gas ist blau und der Treibstoff ist durchsichtig dargestellt.

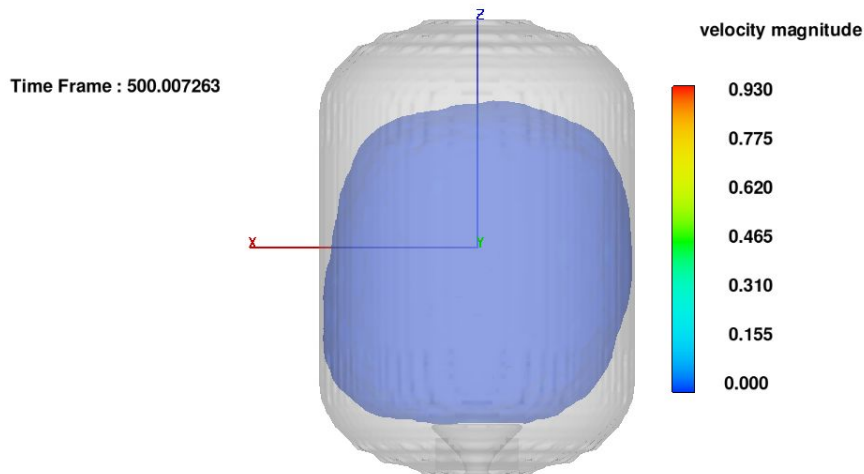


Abbildung 16: Treibstoffkonfiguration zum Zeitpunkt $t = 500 \text{ sec}$. Das Gas ist blau und der Treibstoff ist durchsichtig dargestellt.

Es zeigt sich, dass beginnend von der Gleichgewichtslage unter Schwerelosigkeit eine seitliche Orientierung des Treibstoffes nach rechts erfolgt. Nachdem die Beschleunigungsphase beendet ist erfolgt eine langsame Reorientierung des Treibstoffes erneut hin zu der Gleichgewichtslage. Diese Reorientierung ist in Abbildung 17 als eine gedämpfte Schwingung in der Auftragung des Treibstoffschwerpunktes (x-Achse) zu beobachten. Nach ca. 100 Sekunden erfolgt der erste Durchgang durch die Nulllage und nach ca. 5 Minuten kann die Reorientierung (wichtig für die Wiederbefüllung des PRRs) als quasi abgeschlossen angesehen werden.

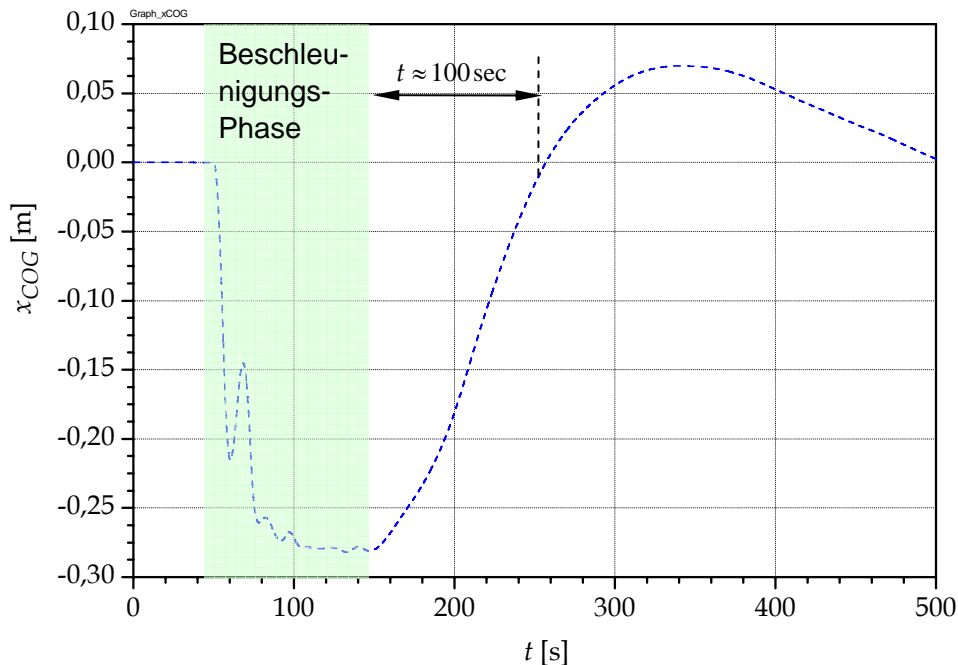


Abbildung 17: Schwerpunkt (X-COG: Center of Gravity) Bewegung des Treibstoffes innerhalb des Tanks während und nach einem Lagekorrektur-Manöver mit seitlicher Beschleunigungsrichtung.

Neben dem oben beschriebenen Schwappverhalten nach Lagekorrektur Manövern ist u.a. auch das Flüssigkeitsverhalten innerhalb des Tanks beim Apogäumseinschuss von Bedeutung. Hierfür müssen die Eigenfrequenzen sowie die auftretende Flüssigkeitsdämpfung ermittelt werden und für die Systemauslegung bekannt sein, welche entsprechend für die vergrößerten Tankversionen zu bestimmen waren.

Anhand von validierten Modellen aus der Literatur wurde die Eigenfrequenzen als auch die Dämpfungskonstanten für verschiedene Füllgrade und Beschleunigungen berechnet. Abbildung 18 zeigt schematisch die berücksichtigten Füllstände bei der Berechnung der Dämpfungsverhältnisse während des Apogäumseinschusses. Die Hauptbeschleunigung wirkt entlang der Längsachse des Tanks. Die Anfangsbeschleunigung wurde mit $a_{initial}$ berücksichtigt, während die finale Beschleunigung mit a_{final} zum Ende des Einschusses gemäß den Anforderungen aus dem Spacebus-Programm angesetzt wurde. Der Füllstand des Treibstoffes im Tank ist mit h bezeichnet. Für eine konservative Berechnung der Dämpfungsverhältnisse (kleinere Dämpfungen als real vorliegend) ist der Einfluss des PRRs am Boden sowie der Treibstoff-Leitbleche nicht berücksichtigt worden.

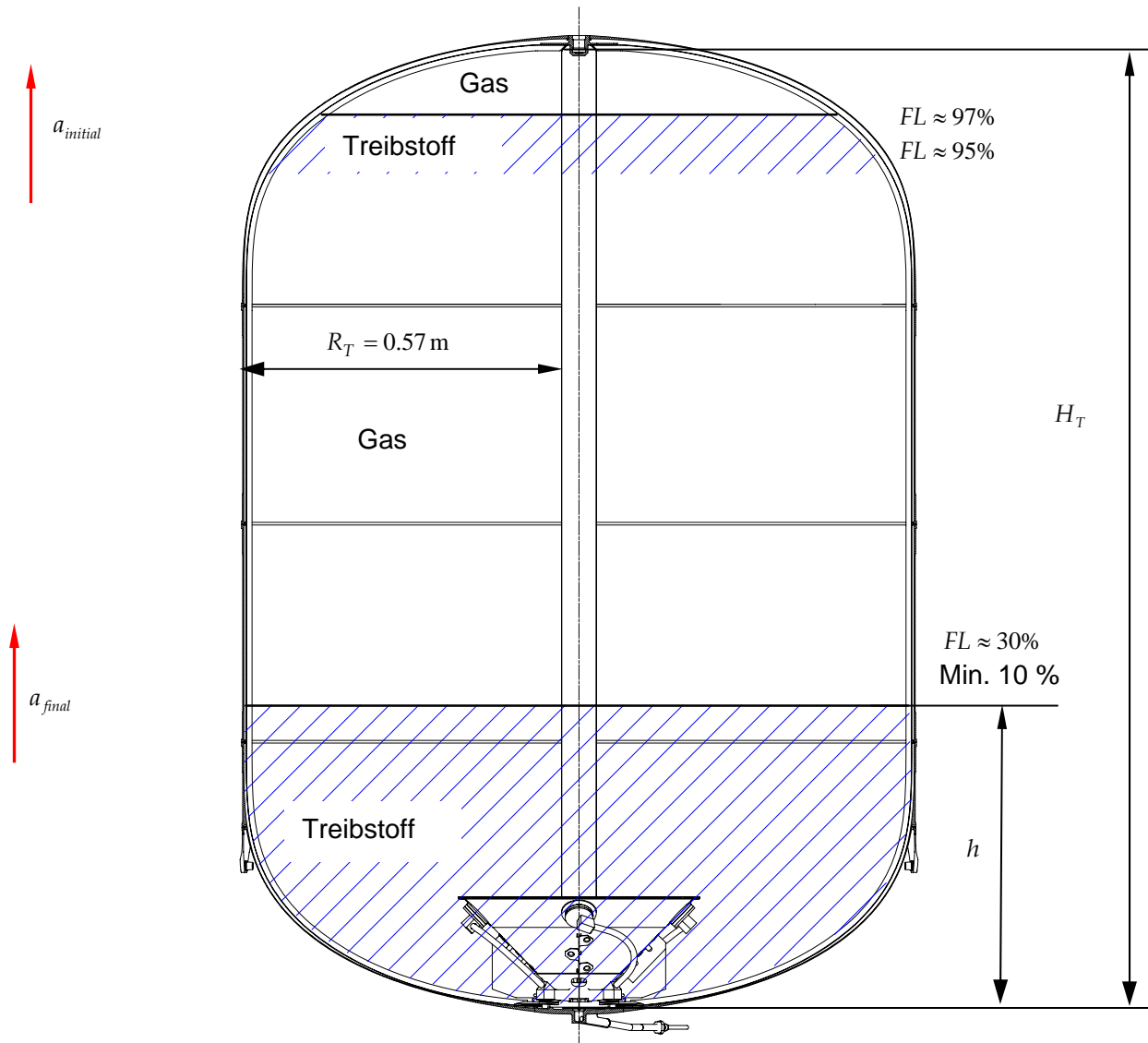


Abbildung 18: Tank geometry, fill levels and propellant orientations during ABM phase for the largest tank size D (1450 litres). The acceleration vectors denote the acceleration direction of the satellite.

Während der Laufzeit des Vorhabens wurde außerdem das Programm "Smallslosh" zur Berechnung der Eigenfrequenzen von linearem Schwappen in achsen-symmetrischen Tanks und zur Bestimmung von äquivalenten Schwapp-Modellen erstellt. Das Programm lässt dabei verschiedene Tankgeometrien sowie verschiedene Fülllevel per Parametereingabe zu und berechnet die Parameter äquivalenter Sloshingmodelle (lineares Pendel-Model). Das Ergebnisfenster als Beispiel für einen Kugeltank ist in unterer Abbildung dargestellt. Eine Verifikation der Ergebnisse für Modeltanks (Zylinder, Kugel) mit vergleichbaren Ergebnissen aus der Literatur zeigt gute Ergebnisse. Eine Validierung des Modells mit Experimenten steht noch aus. Auch eine Erweiterung des Modells zur Bestimmung von äquivalenten Feder-Masse Modellen steht noch aus. Die detaillierte Analyse bzgl. der funktionellen Leistung der vergrößerten Treibstofftanks ist im internen Bericht "OST26-RIBRE-TN-0002, Ausgabe 2" aufgeführt.

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks



Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

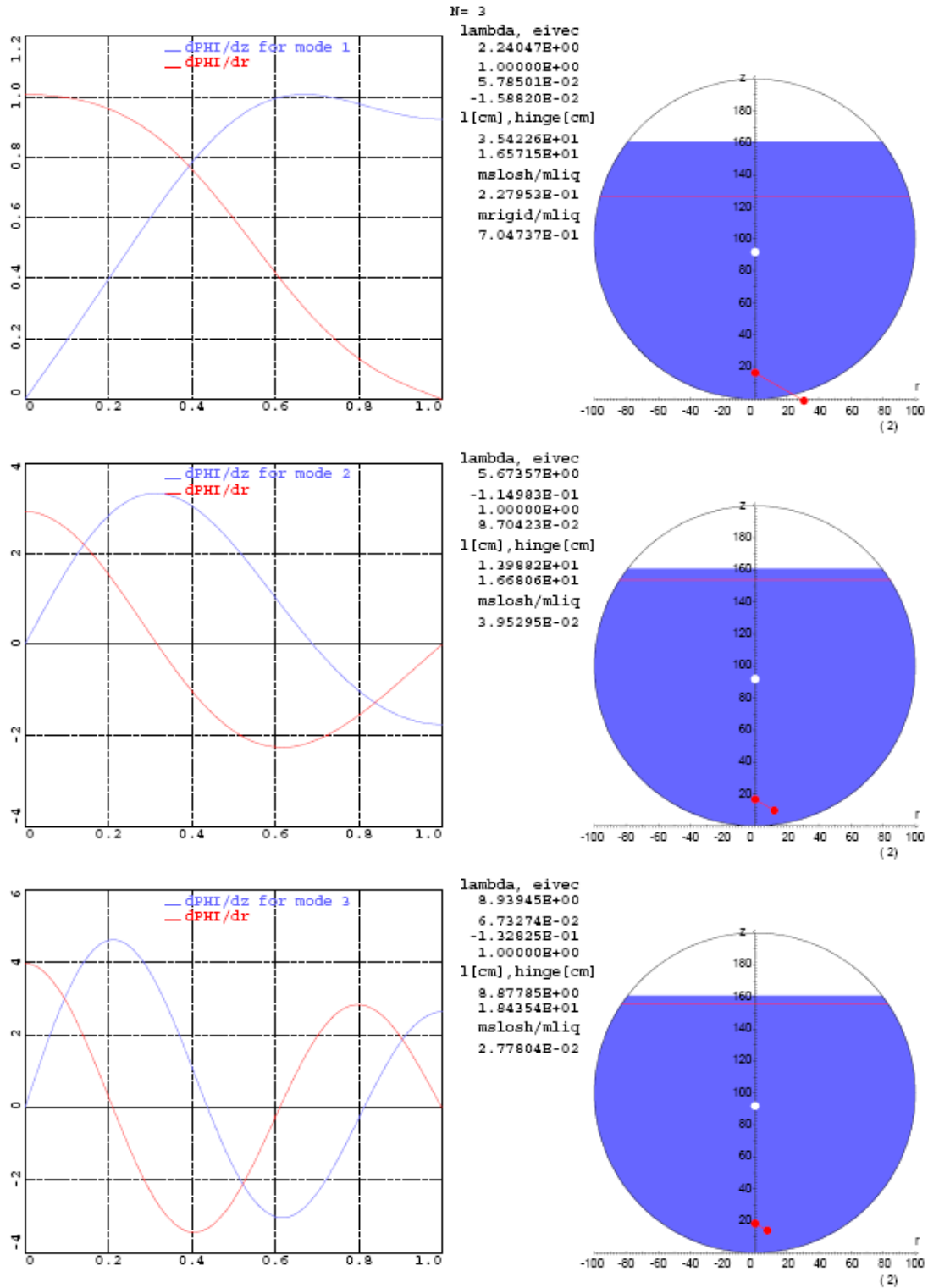


Abbildung 19: Ergebnisse des Programms "Smallsh" für einen Kugeltank mit einem Füllgrad von 90% für die verschiedenen Schwingungsmodi.

2.1.2 Erstellung einer Strukturmechanischen Datenbank

Ziel dieses Arbeitspaketes war es neue strukturmechanische Modelle verschiedener Tankgrößen (kleinster, mittlerer und größter Tank) bei verschiedenen notwendigen Füllständen, Flüssigkeiten (MON und MMH als Treibstoffe sowie IPA und FREON als Testflüssigkeiten) sowie notwendige Innendrucke (minimaler und maximaler Druck) repräsentieren. Zusätzlich zu den Modellen sollten Resstitutionsmatrizen (resp. LTMs - lineare Transformationsmatrizen) entwickelt und bereitgestellt werden, die die Berechnung lokaler Antworten an den Tankpolen, an den Enden und in der Mitte des zylindrischen Teils sowie die Berechnung der Schwerpunktsbeschleunigung (Summe der Schnittstellenkräfte) erlauben.

Die im Rahmen des Vorhabens erstellten Modelle basieren auf Massen- und Steifigkeitsmatrizen im Craig-Bampton-Format und decken, indem Eigenformen bis 300 Hz berücksichtigt werden, einen Frequenzbereich bis ca. 150 Hz ab. Durch die volle Kopplung der Massenmatrix aufgrund des Flüssigkeitsverhaltens und die Anforderungen an die Schalentheorie durch die Vorspannungen (Innendruck) waren besondere mathematische Algorithmen erforderlich. Die besten Ergebnisse wurden durch den Einsatz der Randwertintegralmethode für die Flüssigkeiten sowie numerisch korrekter Lösungen (d.h. ohne finite Approximationen) der technischen Schalentheorie erzielt. In Abbildung 20 sind schematisch die verschiedenen Tankmodelle für die vergrößerten Tanks dargestellt.

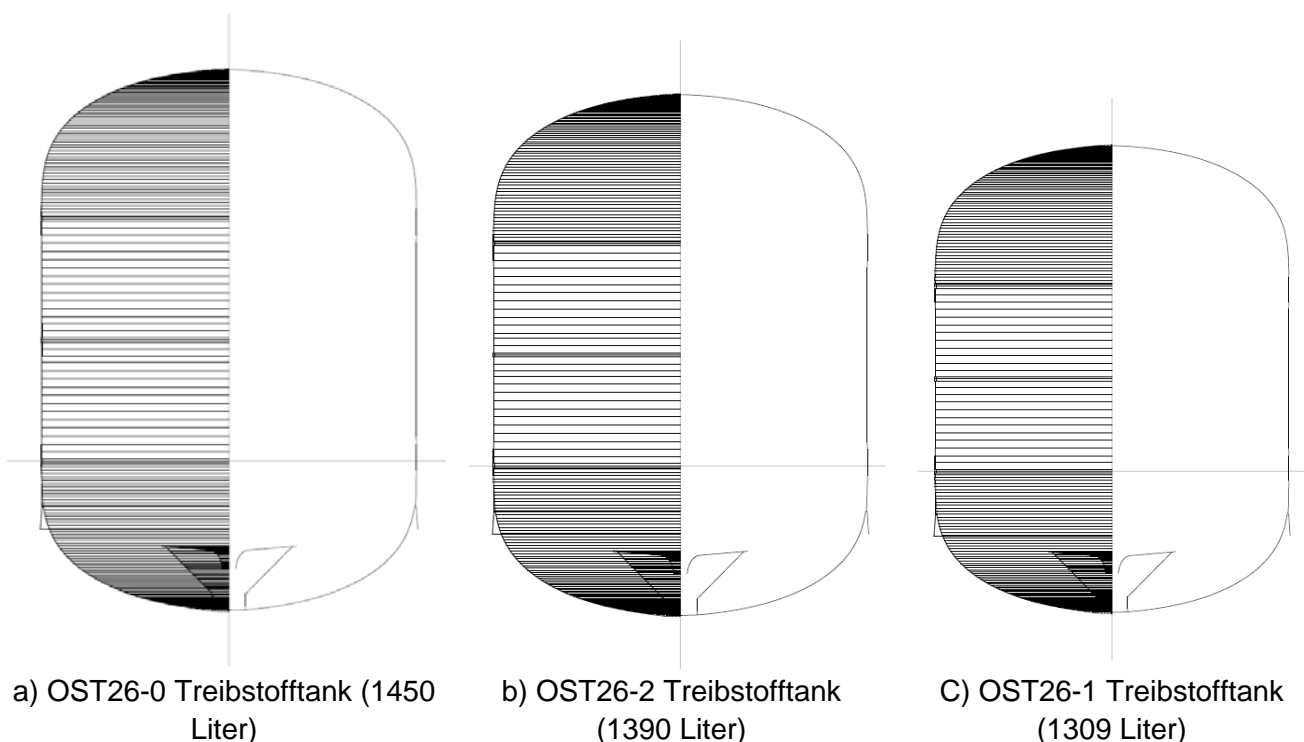


Abbildung 20: Modellierung der großen Treibstofftanks

Zu Beginn des Vorhabens wurde im Vorfeld der Datenbankerstellung untersucht, inwieweit eine "Mixed-Boundary-Methode" bei den besonderen Tankverhältnissen zum Einsatz kommen kann. In Rahmen der Untersuchung konnten jedoch einige offene Fragen bzgl. der "Fluid-Structure-Interaction" Betrachtung nicht zufriedenstellend geklärt werden. Die offenen Punkte betreffen die Transformation

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks



Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

einzelner Fourierfreiheitsgrade (d.h. Koeffizienten der Fourierreihen der technischen Schalentheorie) in diskrete Knotenpunkte auf der Schalenoberfläche, wobei die korrekte Abbildung des Lösungsraumes gewährleistet sein muss. Im Erfolgsfalle hätte sich eine separate Erstellung von Restitutionsmatrizen erübrigt.

Die Rahmen des Vorhabens erstellten Strukturmechanischen Modelle innerhalb der Datenbank sind in Tabelle 2 aufgeführt. Die Modelle decken die drei Tankgrößen 1309 Liter, 1390 Liter sowie 1450 Liter für die vergrößerten Tankmodelle ab. Die Modelle sind kompatibel zum MSC/NASTRAN Format, wobei die Modell Daten aus zwei Teilen bestehen:

1. Daten, welche notwendig zur Gekoppelten Analyse sind:
 - a. Craig-Bampton Massen und Steifigkeits-Matrizen
 - b. Übereinstimmungs-Tabellen der Freiheitsgrade
 - c. Koordinaten des Gitters für die Kopplungsstellen
2. Daten, welche zur Interpretation der Ergebnisse der gekoppelten Analyse (Tank Antwort) notwendig sind:
 - a. Lineare Transformations-Matrizen (Gitterpunkt Beschleunigung und COG (Schwerpunkt) Beschleunigung)
 - b. Übereinstimmungs-Tabellen der Freiheitsgrade
 - c. Restitutionsmatrize (Gitterkoordinaten)

Tank	Flüssigkeit	FL	Δp	Beschrieben im interner Report
-	-	[%]	[bar]	-
OST26-0	MON	95	14	OST26-RIBRE-TN-0012_Iss.2.pdf
OST26-0	MMH	95	14	-"
OST26-1	MON	97	14	-"
OST26-1	MMH	97	14	-"
OST26-1	Freon	95	6	OST26-1-RIBRE-TN-0003_Iss.1.pdf
OST26-1	IPA	97	6	-"
OST26-2	MON	95	10	OST26-2-RIBRE-TN-0001_Iss.2.pdf
OST26-2	MMH	95	10	-"
OST26-2	Freon	93	6	-"
OST26-2	IPA	93	6	-"

Tabelle 2: Modelle für die verschiedenen Tankgrößen OST26-0 (1450 Liter), OST26-1 (1309 Liter) sowie OST26-2 (1390 Liter) für verschiedene Flüssigkeiten, Füllgrade (FL) sowie Differenzdrücke (Δp)

Abbildung 21 zeigt für die verschiedenen großen Treibstofftanks (95 % Füll-Level) die modellierten Fluidelemente im Vergleich, während in Abbildung 22 als Beispiel für den OST26-1 Tank das Restitutionsmodell zur Interpretation der Tank Antwort der gekoppelten Analyse aufgeführt ist.

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks

Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

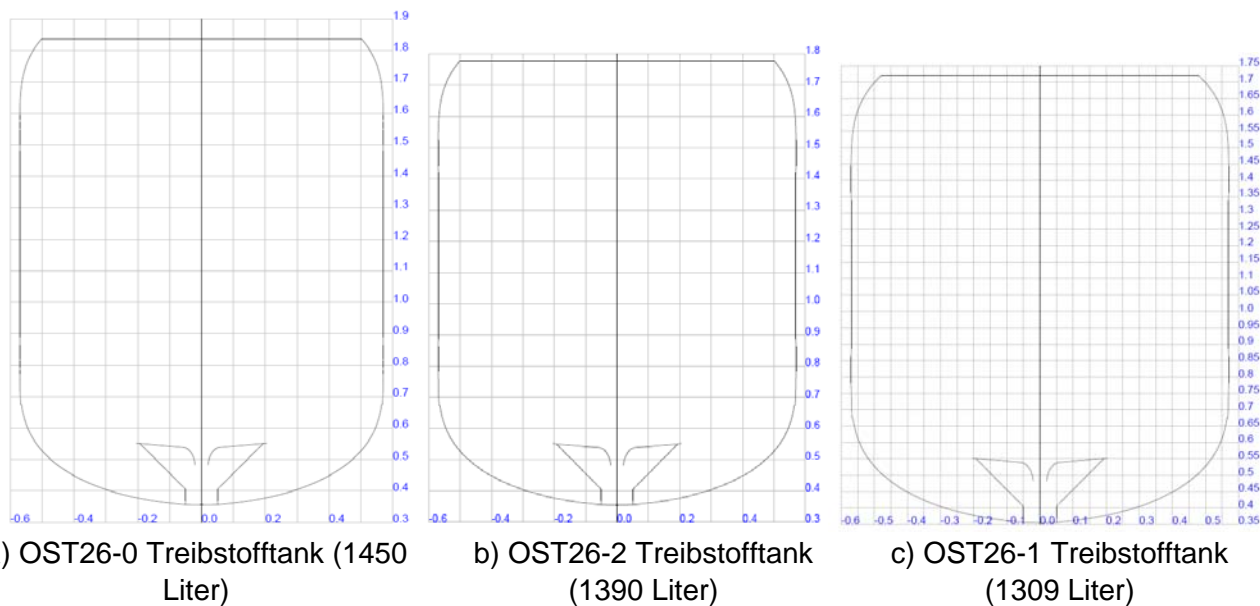


Abbildung 21: Fluid Elemente für Modellierung der großen Treibstofftanks (95 % Füll-Level)

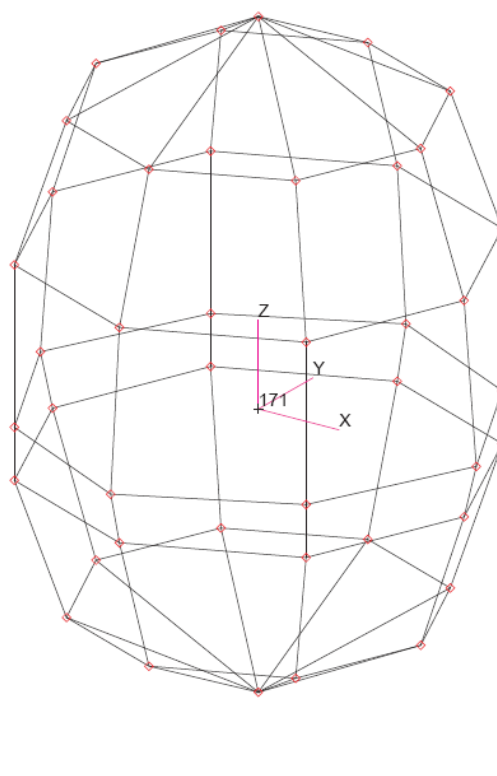


Abbildung 22: Restitutionsmodell (Beispiel OST26-1 Tank)

Die Notwendigkeit zur Herstellung einer solchen Datenbank besteht sowohl auf Satelliten- als auch auf Tankebene aus folgenden Gründen:

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks



Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

- Vom Satellitenhersteller wird auf Systemebene eine strukturdynamische Kopplungsanalyse durchgeführt, um die Lasten zur Dimensionierung der Satellitenstruktur zu ermitteln. Da die Treibstoffsmasse bis zu 60% der gesamten Satellitenmasse darstellt, ist die dynamische Kopplung zwischen primärer Satellitenstruktur und Treibstofftanks sehr stark ausgeprägt. Die Tankkonfiguration hat einen wesentlichen Einfluss auf das dynamische Verhalten des Satelliten. Eine korrekte Modellierung des Satelliten unter Berücksichtigung unterschiedlicher Tankkonfigurationen bedeutet, dass eine strukturdynamische Datenbank von Tankmodellen zur Verfügung stehen muss.
- Die neuen Datensätze der größeren Tankmodelle sind für die Qualifikation des dynamischen Analyseverfahrens der neuen Tankvolumina notwendig. Unter dynamischer Anregung wird die dynamische Antwort an das Propellant Refillable Reservoir (PRR) durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst (Tankgröße, Flüssigkeitsdichte und Füllstand). Die kritischste Konfiguration entspricht nicht unbedingt dem schwersten Tank. Viele Tank-Modelle müssen analysiert und miteinander verglichen werden, um einen so genannten "worst case envelope" zu bestimmen. Dieser "worst case envelope" ist die Basis für die Auswahl des Tank-Technologie Trägers. Dieser Technologie-Träger wird während dem Vibrationstests so belastet, dass die Tankfamilie für den gesamten Volumenbereich (1200 - 1450 Liter.) abgedeckt wird. Damit vermeidet man, dass jedes Tankvolumen einzeln verifiziert werden muss.

Da die mit Treibstoff gefüllten Tanks mehr als die halbe Satelliten-Startmasse ausmachen, und da aufgrund der geforderten extremen Leichtbautechnik die beiden Eigenfrequenzen (Satellitenstruktur und Tanks) sehr dicht zusammen liegen, ist extreme Genauigkeit gefordert. Abweichungen führen zu extrem aufwendigen und zeitraubenden Nacharbeiten sowohl auf Satellitenebene als auch auf dem Tanksegment.

Alle Ergebnisse der Modellrechnungen und mathematischen Simulationen werden in einer Datenbank inklusive der Testdaten zur Verfügung gestellt und sind in den folgenden verschiedenen internen Reports aufgeführt:

- OST26-1-RIBRE-TN-0003, Ausgabe 1
- OST26-RIBRE-TN-0012, Ausgabe 2
- OST26-2-RIBRE-TN-0001, Ausgabe 2

Für potentielle Kunden stehen damit schon in der Angebotsphase aussagekräftige mathematische Modelle zur Verfügung, die mit Hilfe der automatisierten Werkzeuge schnell an spezielle Anforderungen angepasst werden können.

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks



Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

2.1.3 Kapillare Steighilfen

Wie im Abschnitt 2.1.1.1 bereits kurz beschrieben wird der Treibstoff mittels kapillaren Leitblechen, oder "Propellant Acquisition Vanes" (PAV), zum PRR am Tankauslass geführt. Die Leitbleche bestehen aus 4 verschiedenen am oberen und unteren Tankpol befestigten Blechen.

Durch die Tankvolumina von 1200 - 1450 Liter. werden die Vanes wesentlich höheren Belastungen ausgesetzt:

- Durch die Verlängerung des Tanks erhöht sich die Länge der Vanes. Damit steigt während der Vane-Resonanz die mitbewegte Flüssigkeitsmenge. Die Belastung auf das Vane erhöht sich sowie die Reaktionskräfte an den jeweiligen Befestigungspunkten.
- Zusätzlich ist ein neues Belastungsprofil durch Seetransport mit gefüllten Tanks gegeben. Das neue "Ermüdungsspektrum" enthält eine sehr große Anzahl von Lastwechseln. Ziel ist es, zu überprüfen, ob die bisher eingesetzte Technologie der Vanes den Dauerfestigkeitsanforderungen gewachsen ist.

Die Ermittlung der Lasten in den Vanes und deren Anschluss an das Propellant Refillable Reservoir (PRR) sind besonders komplex. Wegen der besonderen Geometrie wird das Vane durch große Verformung belastet. Mögliche Kontakte mit der Tankschale sind zu berücksichtigen. Zusätzlich hängt die dynamische Verstärkung von der Art der Flüssigkeit und deren Dämpfung ab. Um dieses Problem zu lösen werden Analysen und Tests verwendet.

Die Leitblech-Festigkeit wird grundsätzlich mittels Test mit einem repräsentativen Test-Tank nachgewiesen, wobei die maximale Belastung sowie das ganze "Fatigue-Spektrum" aufgebracht werden müssen.

2.1.3.1 Vibrationstests

Wegen der Leitblech -Dimensionen war ein Test im "nassen Zustand" äußerst schwierig. Deshalb musste die Überprüfung des Leitbleches im nassen Zustand mittels Finite-Elemente-Analysen erfolgen. Die Belastung des trockenen Leitbleches musste so bestimmt werden, dass der nasse Zustand durch ein entsprechendes Belastungsprofil des trockenen Tests abgedeckt wird.

Um die Lasten auf das Leitblech zu ermitteln, war bisher nur eine grobe Modellierung der Vanes nötig. Aufgrund der neuen Anforderungen für vergrößerte Treibstofftanks musste ein viel genaueres Finite-Elemente-Modell unter Berücksichtigung nicht-linearen Strukturverhaltens entwickelt, eingesetzt und validiert werden. Zu Beginn des Vorhabens war nicht sichergestellt, dass das etablierte PAV-Design prinzipiell übernommen werden konnte, oder ob durch die Tank-Vergrößerung und Verlängerung der Leitbleche aufwendige Modifikationen einzuführen wären.

Die Vibrations-Tests auf PAV Komponentenebene wurden mit einem Prototype Leitblech des vergrößerten OST26-0 Treibstofftanks (1450 Liter) durchgeführt um repräsentative Testergebnisse zu garantieren. Für die Durchführung der Vibrationstests Aufspannvorrichtung entwickelt, konstruiert und gefertigt werden, welche in Abbildung 23 dargestellt ist. Die Aufspannvorrichtung erlaubt eine Einspannung des Leitbleches in einen flugrepräsentativen Zustand und eine Aufspannung auf den Shaktisch zur definierten Beaufschlagung der entsprechenden Lasten.

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks



Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

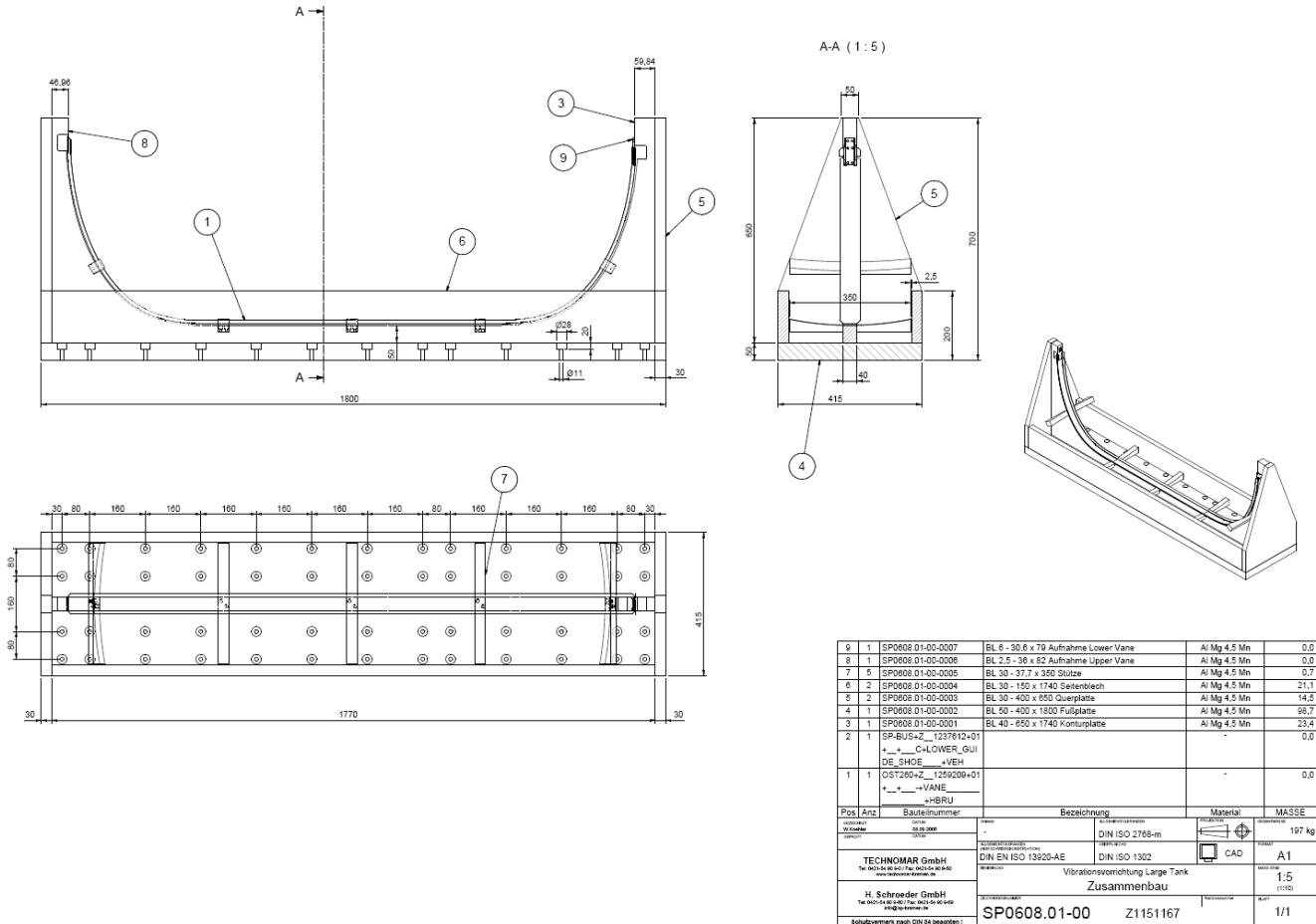


Abbildung 23: Aufspannvorrichtung für den PAV Vibrations-Tests

Die Vibrations-Tests wurden in zwei Schritten durchgeführt um folgende Zielsetzungen zu erfüllen:

Schritt 1: Komponenten-Qualifikation des Leitblech Designs:

1. Bezüglich Transportbelastungen in leerer oder gefüllter Konfiguration
2. Bezüglich (a) Akzeptanz Test (b) System Level Test und (c) Flug Belastungen entsprechend der Konfiguration mit gefülltem Tank

Schritt 2: Komponenten-Qualifikation des Leitblech Designs:

3. Bezüglich Prototypen Model (PFM) Tests auf Tank Ebene entsprechend der Konfiguration mit gefülltem Tank.

Abbildung 24 zeigt die Aufspannvorrichtung mit dem Leitbleches auf dem Shakertisch.

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks

Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

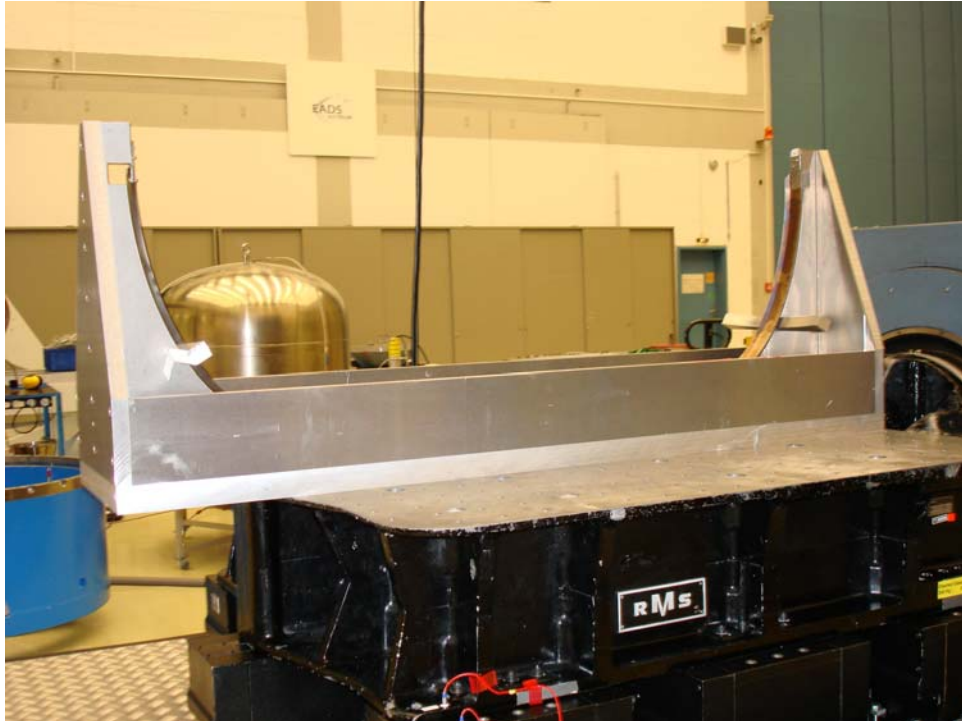


Abbildung 24: Aufspannvorrichtung mit dem Leitbleches auf dem Shaker.



Abbildung 25: Ursprüngliches Design der Leitblech-Fixierung am PRR

Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

2.1.3.1.1 Ursprünglichen Design der Leitblech Fixierung

Nach dem ersten Vibrationslauf mit dem ursprünglichen Design des PAVs wurde ein Riss im Bereich der Schweißnaht zum unteren Gleitschuh bzw. am Einschnitt der Leitblechflügel festgestellt. Der Riss ist in Abbildung 26 innerhalb der Vibrationsaufspannung ersichtlich sowie nach Durchführung der Farbeindringprüfung in Abbildung 27 noch deutlicher zu erkennen bzgl. Rissfortpflanzung entlang der Schweißnaht.

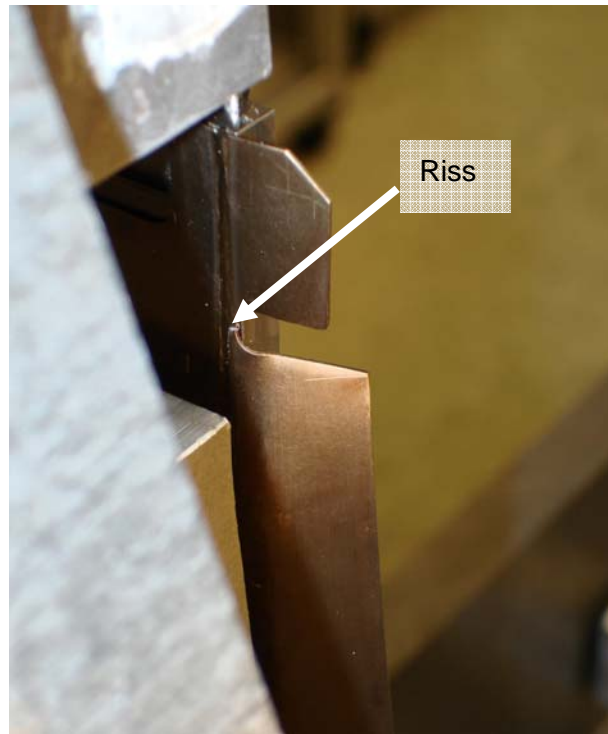


Abbildung 26: Ursprüngliches Design der Leitblech-Fixierung: Nach Durchführung des Vibrationsstests in Querrichtung zeigte sich ein Riss im Bereich der Schweißnaht an der Leitblech-Fixierung am PRR.

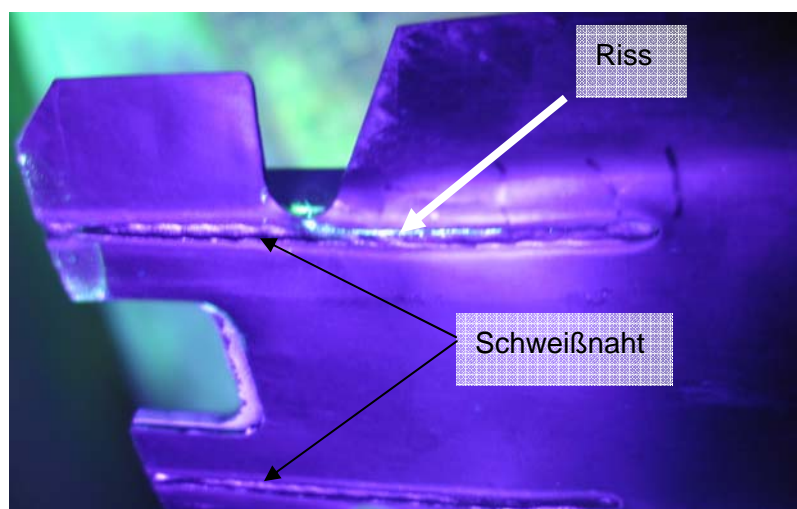


Abbildung 27: Ursprüngliches Design der Leitblech-Fixierung: Rissnachweis per Farbeindringprüfung

Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

2.1.3.1.2 Erste Designänderung der Leitblech Fixierung

Als erstes Konzept für die Designänderung der Leitblech Fixierung wurden auf beiden Seiten der Leitbleche im Bereich der angewinkelten Schenkel jeweils ein T-Spalt wie in unterer Abbildung dargestellt eingefügt.

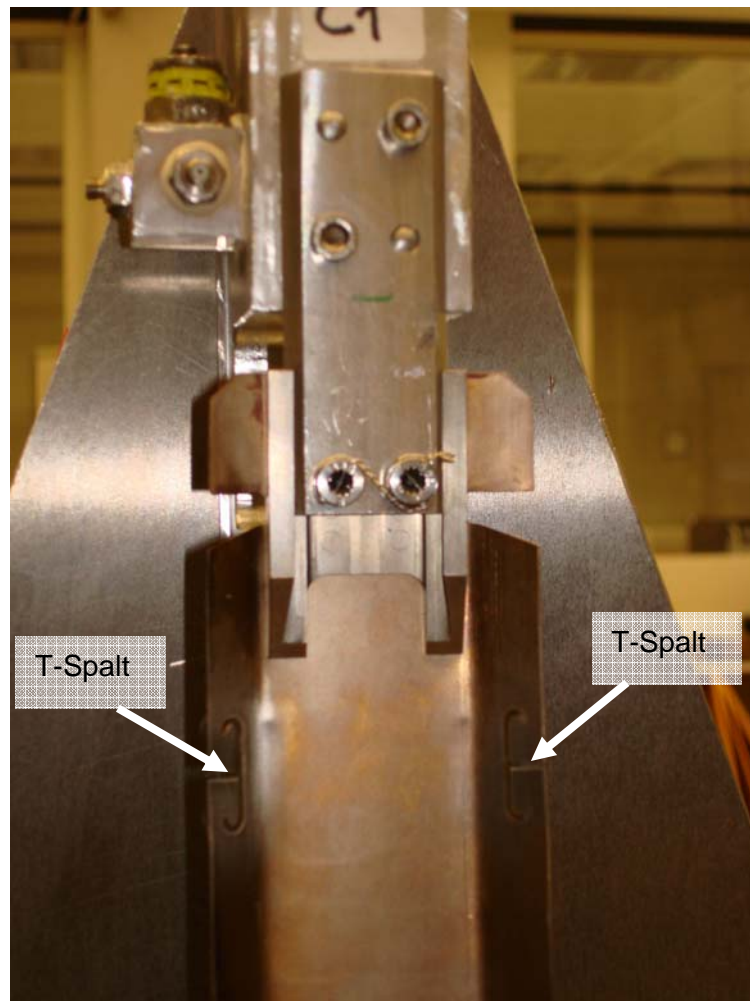


Abbildung 28: Erste Designänderung durch Einbringung eines T-Spaltes auf beiden Seiten der Leitbleche im Bereich der angewinkelten Schenkel zur Reduzierung der Spannungsspitzen.

Durch die Einbringung des T-Spaltes werden die Spannungen im Bereich des Einrissbereiches beim ursprünglichen Design deutlich reduziert. Ein Vergleich des ursprünglichen Designs mit dem abgeänderten Design (T-Spalt) hinsichtlich der Spannungsverteilungen unter Belastung ist in Abbildung 29 sowie Abbildung 30 dargestellt. Es zeigt sich, dass beim aktualisierten Design durch den T-Spalt die Spannungsverteilung im Bereich der Schweißnaht im Vergleich deutlich reduziert wird. Erhöhte Spannungen treten jedoch im Bereich unterhalb des T-Spaltes auf. Diese strukturelle Modifikation im Kräfteinleitungsbereich hat keinen Einfluss auf die Funktion des Leitbleches den Treibstoff in Richtung des PRRs zu fördern.

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks

Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

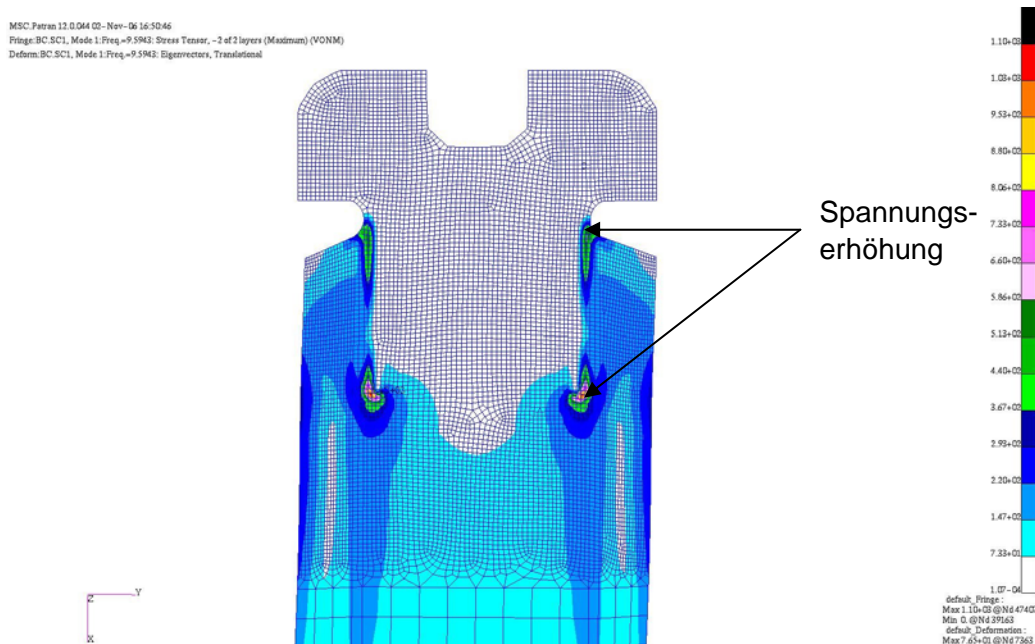


Abbildung 29: Ursprüngliches Design der Leitblech-Fixierung. Die Spannungsverteilung zeigt Spannungsspitzen im Bereich der Schweißnaht.

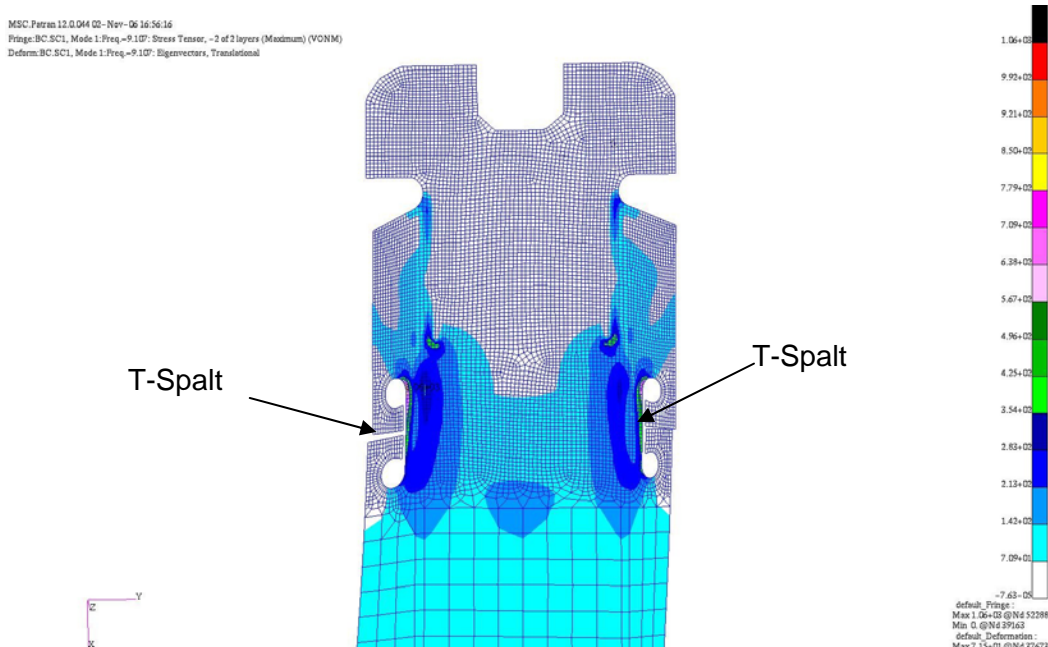


Abbildung 30: Erste Designänderung der Leitblech Fixierung durch Einbringung eines T-Spaltes auf beiden Seiten. Die Spannungsverteilung im Bereich der Schweißnaht wird deutlich reduziert. Erhöhte Spannungen treten jedoch im Bereich unterhalb des T-Spaltes auf.

Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

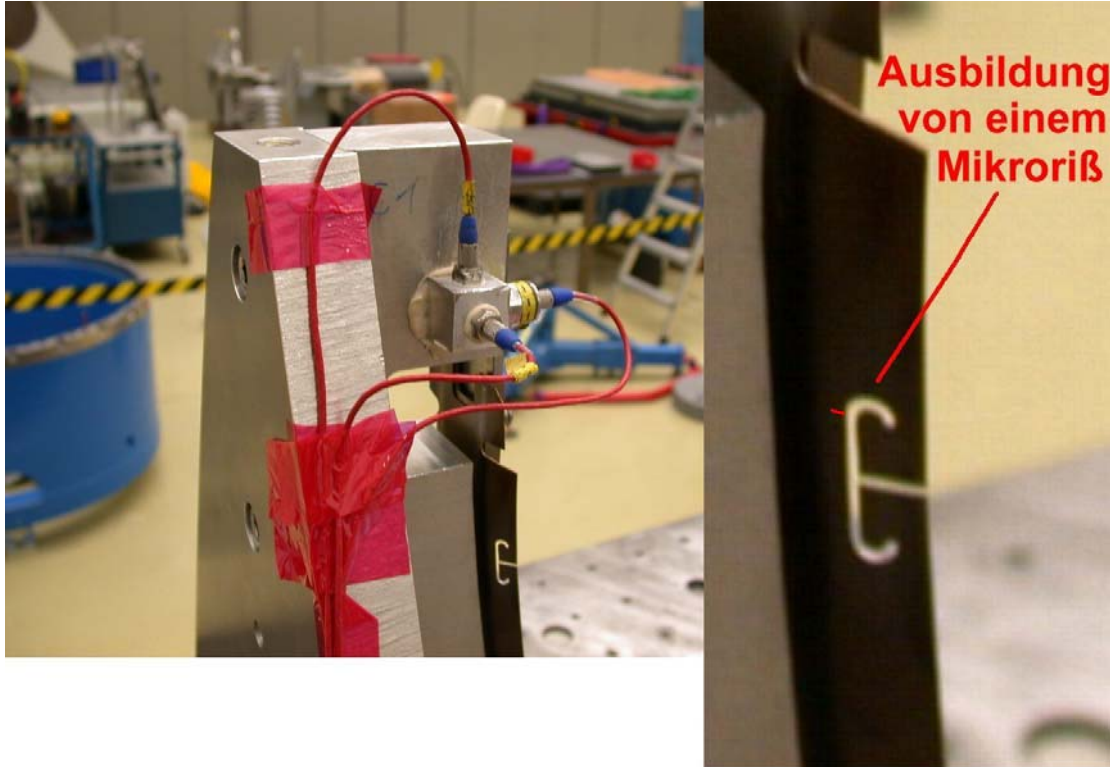


Abbildung 31: Riss im T-Spalt nach Durchführung der Schritt 1 Vibrationstests.

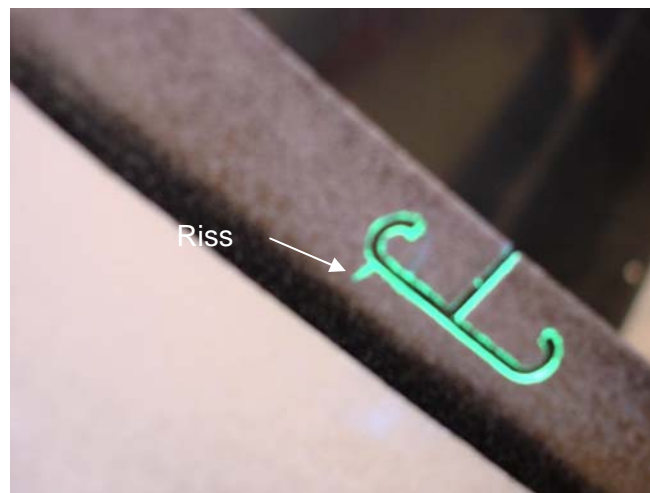


Abbildung 32: Riss im T-Spalt nach Durchführung der Schritt 1 Vibrationstests.

Eine Inspektion des Leitbleches nach den Schritt 1 Vibrationstests zeigte jedoch auch beim aktualisierten T-Spalt Design einen Fehler in Form eines Risses im Bereich des Radius Spannungsentlastungs-Spates auf der einen Seite des Flügels. Der Risspfad breitet sich von Spalttrand hin zum Zentrum des Leitbleches hin aus (siehe Abbildung 31 und Abbildung 32). Während und nach der Schritt 2 Vibrationstests war ein weiterer Rissfortschritt nicht zu erkennen womit der Riss als stabil angesehen werden konnte. Zur Vermeidung eines Risses wurde eine zweite Designänderung für die Leitblech Fixierung herangezogen.

Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

2.1.3.1.3 Zweite Designänderung der Leitblech Fixierung

Zur Reduzierung der Spannungen im Bereich des Einschnittes der Leitblechflügel sowie der Scheißnaht am Gleitschuh und zur Vermeidung eines entsprechenden Risses, wie im ursprünglichen Design beobachtet (siehe Abschnitt 2.1.3.1.1), ist in der zweiten Designänderung die Gleitschuh mit seitlichen zusätzlichen Unterstützungsflügeln versehen worden. Diese Flügel unterstützen die geneigten Leitblechschenkel im Anbindungsbereich. Die Spannungsverteilungen im Anbindungsbereich sind in Abbildung 34 dargestellt, wobei sich deutlich geringere Spannungen zeigen.

Auch diese strukturelle Modifikation im Kräfteinleitungsbereich hat keinen Einfluss auf die Funktion des Leitbleches den Treibstoff in Richtung des PRRs zu fördern.

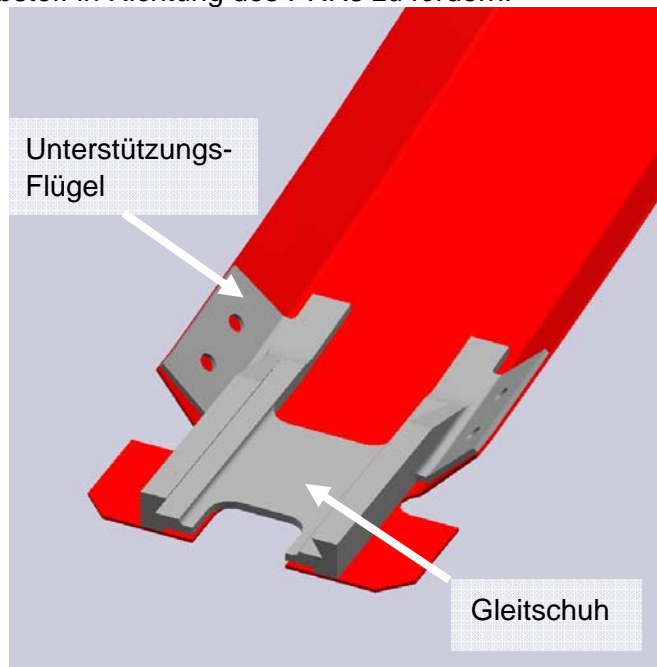


Abbildung 33: Zweites überarbeitetes Design der Leitblech-Fixierung am PRR.

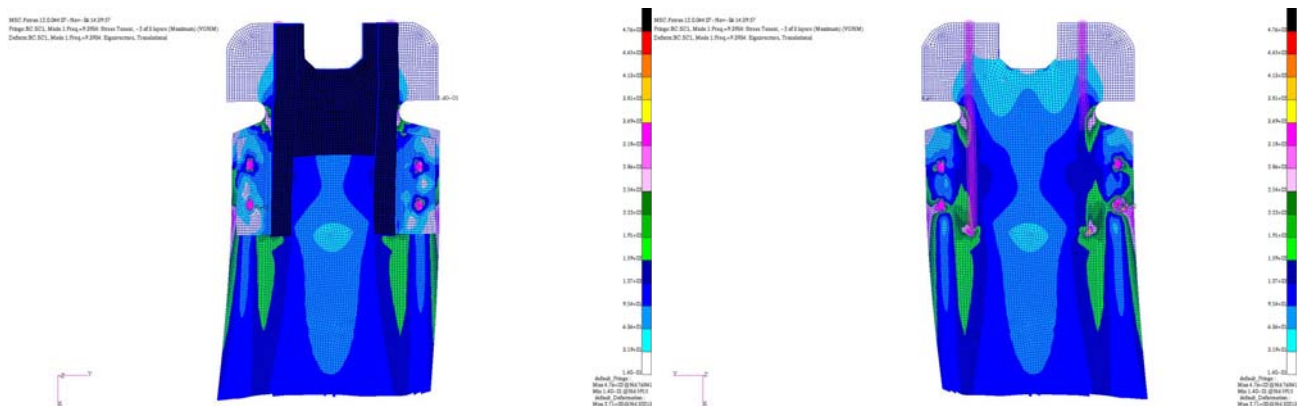


Abbildung 34: Zweites überarbeitetes Design der Leitblech-Fixierung am PRR

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks



Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

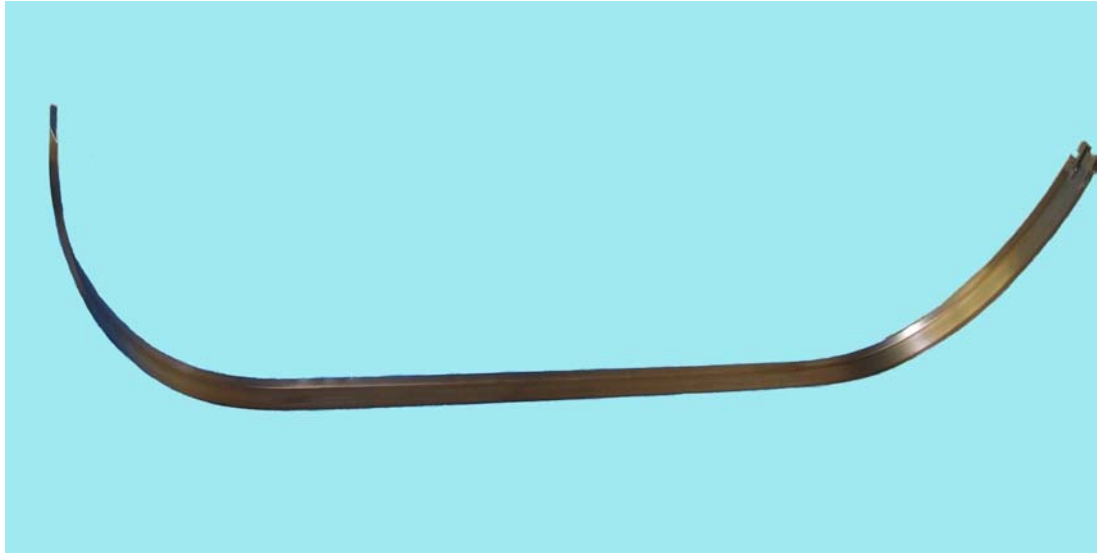


Abbildung 35: PAV des OST26-0 (1450 Liter Tank) nach den Vibrationstests (Schritt 1 und Schritt 2)

Diese Designveränderung stellte sich als sehr erfolgreich heraus. Während und nach den Vibrationstests mit dem überarbeiteten Design des PAVs wurden folgende Überprüfungen durchgeführt:

Nach Schritt 1:

4. Die Überprüfung ob ein Frequenz-Versatzes vor und nach dem Vibrations-Test vorliegt zeigte keine positive Indikation (kein Versatz, siehe folgende Diagramme).
5. Die Überprüfung der Wandabstände des Leitbleches vor und nach der Vibration zeigte Leitblech-Abstände innerhalb der geforderten Toleranzen.
6. Visuelle Inspektion des Leitbleches zeigte keine Beschädigungen
7. Eine Farbeindringprüfung des Schweißbereiches zeigte keinen positiven Befund.

Nach Schritt 2:

- Die Überprüfung ob ein Frequenz-Versatzes vor und nach dem Vibrations-Test vorliegt zeigte keine positive Indikation (kein Versatz, siehe folgende Diagramme).
- Die Überprüfung der Wandabstände des Leitbleches vor und nach der Vibration zeigte Leitblech-Abstände innerhalb der geforderten Toleranzen.
- Visuelle Inspektion des Leitbleches zeigte keine Beschädigungen
- Eine Farbeindringprüfung des Schweißbereiches zeigte keinen positiven Befund.
- Eine Farbeindringprüfung auf dem gesamten Leitblech zeigte keinen positiven Befund.

Beispielhaft sind die Leitblech-Antworten während des ersten und letzten Sinus Resonanz-Suchlaufes für jede Achse in den folgenden Abbildungen aufgeführt worden, wobei sich zeigt, dass keine Frequenz-Verschiebung in Folge der Vibrationstests eintritt und die strukturelle Integrität nachgewiesen ist.

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks

Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

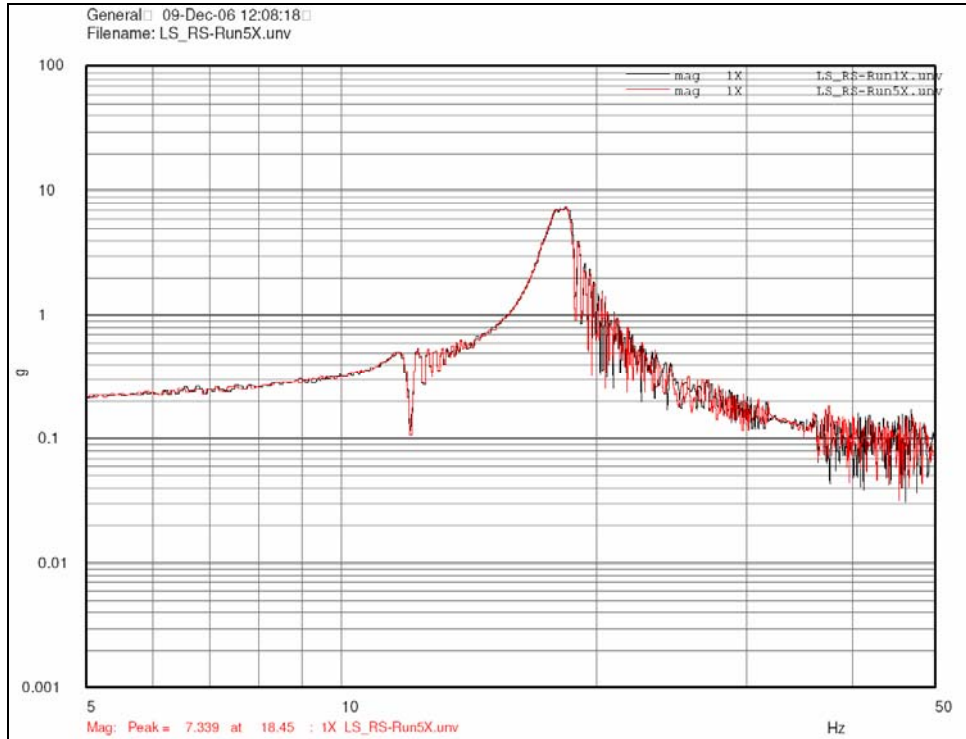


Abbildung 36: Vergleich der Leitblech-Antworten 1X während des ersten und letzten Sinus Resonanz-Suchlaufes (X-Achse)

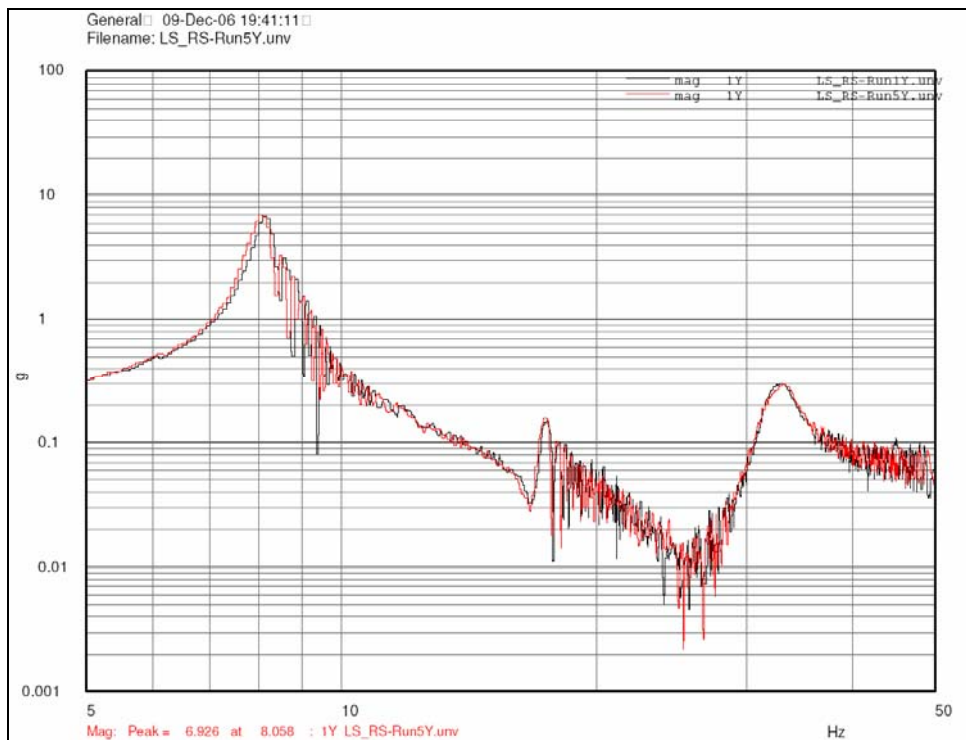


Abbildung 37: Vergleich der Leitblech-Antworten 1Y während des ersten und letzten Sinus Resonanz-Suchlaufes (Y-Achse)

Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

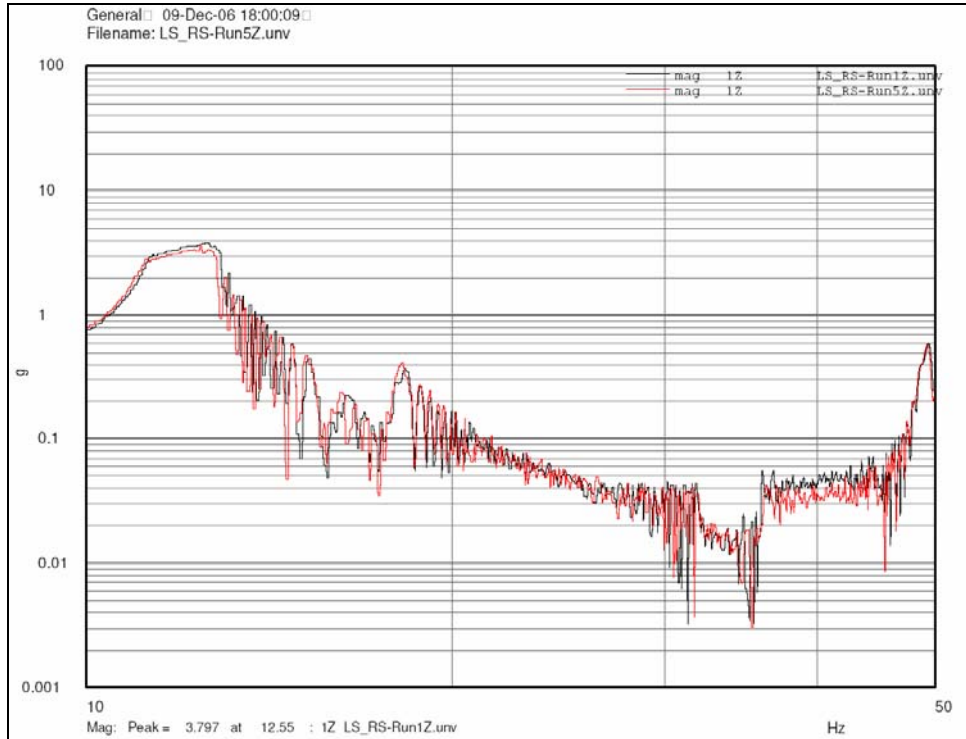


Abbildung 38: Vergleich der Leitblech-Antworten 1Z während des ersten und letzten Sinus Resonanz-Suchlaufes (Z-Achse)

2.1.3.2 Vermessung des Wandabstand des Leitbleches

Neben dem Vergleich der Leitblech-Antworten während des ersten und letzten Sinus Resonanz-Suchlaufes für jede Achse und den durchgeführten visuellen Inspektionen sowie Farbeindringprüfungen sind ebenfalls Vermessungen des Wandabstandes des Leitbleches vor und nach den Vibrationen durchgeführt worden. Eine Übersicht der Messungen ist in folgenden Tabellen wiedergegeben.

Ort	Abstand PAV zur Inneren Tankwand [mm]		
	Nominale Anforderung	Vor Schritt 1	Nach Schritt 2
Naht 26.2.2	5 ± 1	5,4	5,1
Naht 26.2.1		5,5	5,7
Naht 26.2		5,3	5,7

Tabelle 3: Wandabstandsmessung des PAVs zur inneren Tankwand für das OST26-0 EQM (zweite Designänderung). Naht 26.2.2 im Bereich unterer Dome/unterer Ring; Naht 26.2.1. im Bereich unterer Ring/oberer Ring; Naht 26.2 im Bereich oberer Dome/oberer Ring.

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks



Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

Ort	Abstand PAV zur Inneren Tankwand [mm]			
	Nominale Anforderung	Vor Schritt 1	Nach Schritt 1	Nach Schritt 2
Naht 26.2.2	5 ±1	5,4	5,0	4,9
Naht 26.2.1		5,5	5,7	5,6
Naht 26.2		5,3	5,5	5,6

Tabelle 4: Wandabstandsmessung des PAVs zur inneren Tankwand für das OST26-0 EQM (zweite Designänderung) in Konfiguration entsprechend dem bedrückten Zustand. Naht 26.2.2 im Bereich unterer Dome/unterer Ring; Naht 26.2.1. im Bereich unterer Ring/oberer Ring; Naht 26.2 im Bereich oberer Dome/oberer Ring.

2.1.3.3 Zusammenfassung zum Arbeitspaket Kapillare Steighilfen

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurden erfolgreich kapillare Steighilfen qualifiziert, wie sie als kapillare Leitbleche in vergrößerten Treibstofftanks bis zu einer derzeitigen Kapazität von 1450 Litern eingesetzt werden können. Die Arbeiten sowie die detaillierten Ergebnisse dieses Arbeitspaketes sind in folgenden beiden internen Berichten wiedergegeben:

- OST26-RIBRE-TP-0001, Ausgabe 3
- OST26-RIBRE-TRP-0003, Ausgabe 1

2.1.4 Verifikations-Tests

Durch die geänderten Marktbedingungen und die daraus resultierenden Anforderung, zukünftig Tankvolumina von 1200 - 1450 Liter. zu entwickeln, sind die Anforderungen hinsichtlich dynamischer Belastung massiv gestiegen. Hierdurch steigen nicht nur die gesamte Tankmasse, sondern auch die Designbeschleunigungen. Diese Erhöhung der Beschleunigungen resultiert aus den niedrigeren Resonanz-Frequenzen massereicherer Tanks und der stärkeren dynamischen Kopplung mit der Satellitenstruktur. In der lateralen Richtung ist eine Erhöhung der Beschleunigungen um 50% zu berücksichtigen, kombiniert mit einer erhöhten Flüssigkeitsmasse wird somit der vergrößerte Tank wesentlich höheren Belastungen ausgesetzt. Ein neuer Nachweis - durch dynamische Analysen und Tests - ist deshalb unter Berücksichtigung dieser stärkeren Belastung erforderlich.

Die verschiedenen Tankvolumina sollen mittels eines verfügbaren Technologie-Tanks repräsentiert werden. Die Selektion der Tankkonfiguration wird durch gekoppelte, dynamische Fluid-Struktur-Analyse im Frequenzbereich bestimmt. Der Einfluss des Innendruckes wird hierbei berücksichtigt. Der Tank wird während der Vibrationstests so belastet, dass die gesamte Tank-Familie abgedeckt wird. So wird es vermieden, dass jede Tankkonfiguration einzeln getestet werden muss.

Nach dem dynamischen Test wird geprüft, ob keine unzulässige Beschädigung aufgetreten ist, und ob die verwendeten mathematischen Modelle und Datenbank-Rechnungen sowie Funktionalität und Integrität noch gewährleistet werden können. Insbesondere wird die Funktionsfähigkeit der Siebe am PRR durch den "Bubble Point" Test nachgewiesen.

Um die Zuverlässigkeit der Tankmodellierung für die unterschiedliche Tankkonfigurationen zu erhöhen ist eine Kalibrierung der Analysenparameter notwendig. So werden während der Versuche sämtliche Messdaten erzeugt, um eine Korrelation der mathematischen Tankmodelle mit den gemessenen Resonanz-Frequenzen und deren Amplituden zu ermöglichen.

Im Rahmen Vorhabens sollte an einem vorhandenen Versuchstank untersucht werden ob die hohen Anforderungen die strukturmechanische und funktionale Integrität des Tanks einschränken. Hierzu soll der Versuchsträger Belastungstests unterzogen werden. Das Risiko eines vorzeitigen Ausfalls des Versuchsmusters wird als nicht unerheblich angesehen. Deshalb wird zwischen den einzelnen Lastzyklen die Funktionsfähigkeit überprüft, um das Risiko eines Totalschadens zu begrenzen. Wegen der besonders hohen Anforderungen wird der Versuchs-Tank extrem belastet und ermüdet. Deswegen sind im Vorfeld Festigkeits- sowie Ermüdungs-Analysen (Fatigue-Analysen), inklusive Risswachstumsanalyse, speziell für den Prototyp durchgeführt worden.

2.1.4.1 EQM Vibrations-Tests

Als Demonstrator Modell wurde ein Original OST24-0 Treibstoff-Tank (S/N 074) mit einer Kapazität von 1207 Litern einer Höhe des Zwischenzylinders von 500mm für den EQM Test (EQM = Equipment Qualification Model) ausgewählt.

Die Qualification des PRR erfolgte dabei in zwei Schritten, um nach Abschluss jeder einzelnen Phase die Integrität und Funktionsfähigkeit des Tanks kontrollieren zu können. Folgende Zielsetzungen wurden in den zwei Phasen dabei verfolgt.

- Schritt 1:** Tankfüllstand 50 % bei einem inneren Druck von 4 Bar (limitiert durch die Sicherheitsauflagen der Testanlage)
8. Das PRR muss die Belastungen bezüglich (a) Akzeptanz Test (b) System Level Test und (c) Flug Belastungen widerstehen

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks

Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

Schritt 2: Tankfüllstand 97 % bei einem inneren Druck von 14 Bar

9. Das PRR muss die Belastungen bezüglich Protoflug Model (PFM) Tests widerstehen, ohne Verlust der Funktionalität

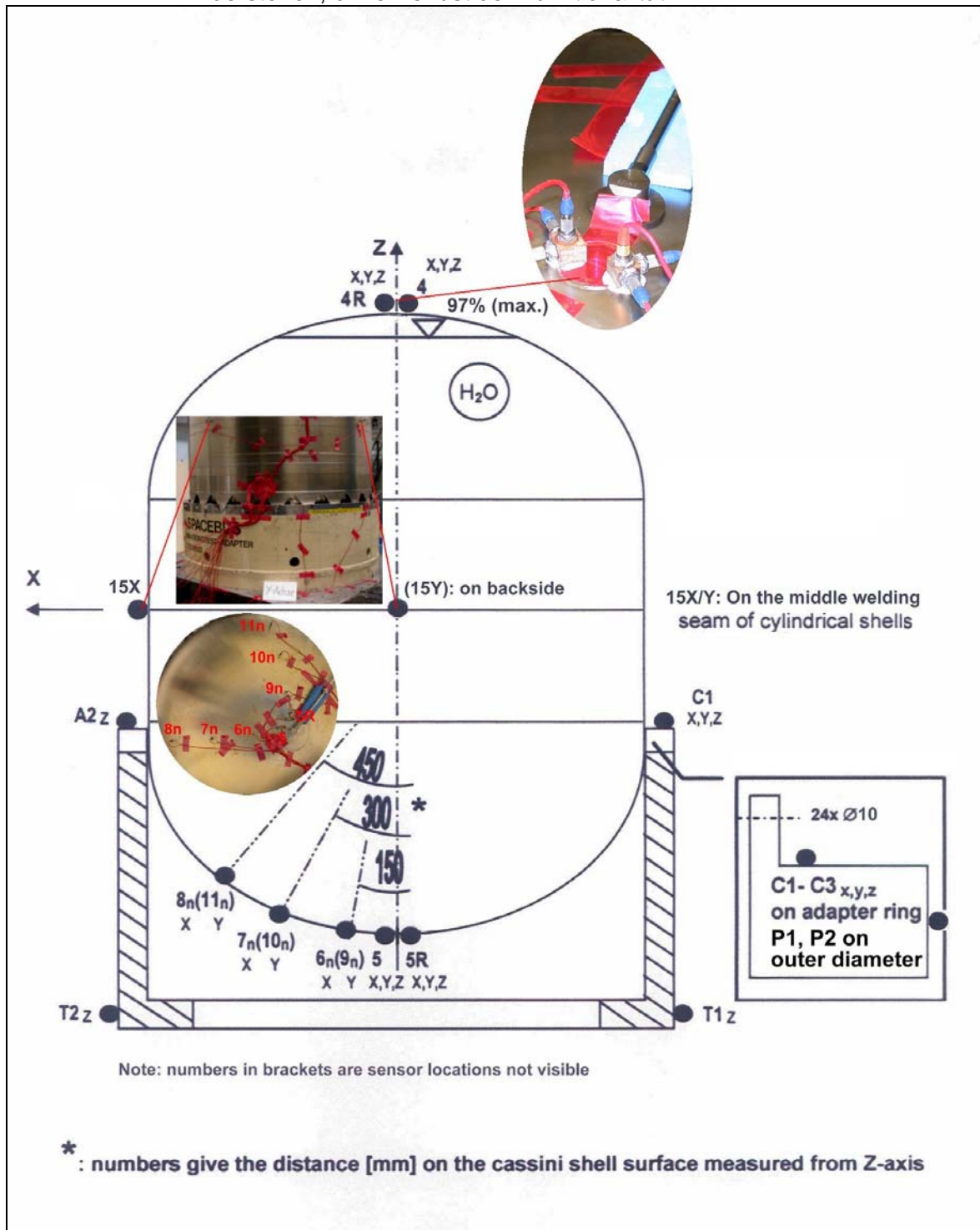


Abbildung 39: Messstellenplan für dynamische Belastungstests

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks

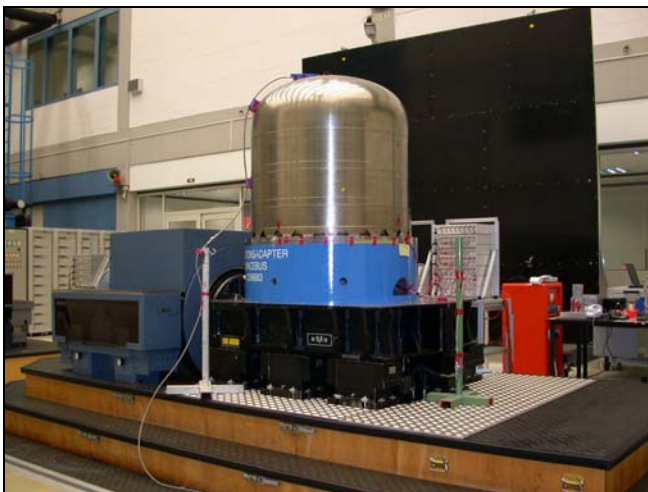
Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

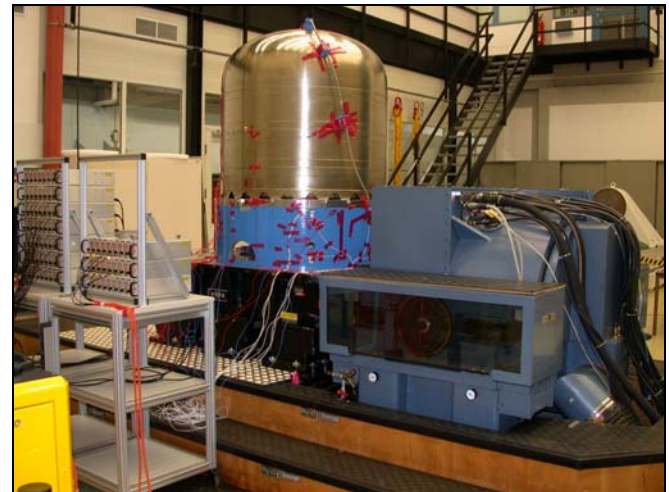
Als Testmedium wurde deionisiertes Wasser sowie GN2 als Bedrückungsmedium verwendet. Vor und nach Durchführung der Vibrationstests erfolgten Tests der funktionalen Integrität des PRR durch eine Messung des Bubble Points an den verschiedenen Siebadaptern. Dadurch wurde verifiziert, dass keine Degeneration der Funktionalen Leistungsfähigkeiten des PRR infolge der Qualifikations-Vibrationslasten auftreten. Der Messstellenplan für die dynamischen Belastungstests ist in Abbildung 39 aufgeführt.



Abbildung 40: Z-Achse on EADS Astrium Test Facility Vertical Test Setup



Y-Achse in der EADS Astrium Testanlage



X-Achse in der EADS Astrium Testanlage

Abbildung 41: Horizontaler Testaufbau

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks

Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007



Abbildung 42: Vertikaler Testaufbau: Z-Achse in der IABG mbH 200kN Testanlage



Y-Achse in der IABG mbH 200kN Testanlage



X-Achse in der IABG mbH 200kN Testanlage

Abbildung 43: Horizontaler Testaufbau: Z-Achse in der IABG mbH 200kN Testanlage

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks

Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007



Abbildung 44: Y-Achse in der IABG mbH 300kN Testanlage - Erster Test



Abbildung 45: Y-Achse in der IABG mbH 300kN Testanlage - Zweiter Test

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks



Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

2.1.4.2 Strukturelle Integrität

Zur Verifikation der strukturellen Integrität des EQM-Tanks sind die Resonanz-Suchläufe bei geringen Pegel vor und nach den Akzeptanz-Pegel Vibrationsläufen miteinander verglichen worden. Es zeigten sich keine Änderungen in der dynamischen Charakteristik, was darauf hinweist, dass kein struktureller Schaden am Tank während der Vibrationstests aufgetreten ist. Ein Vergleich der Resonanz-Suchläufe ist in den folgenden Abbildungen (Abbildung 46 bis Abbildung 49) beispielhaft aufgeführt.

Daneben wurde eine Verifikation der funktionellen Integrität des PRRs im EQM-M vor, während und nach den Vibrationstests durchgeführt, welche im Abschnitt 2.1.4.3 aufgeführt alle erfolgreich verlaufen sind.

Die **Testergebnisse von Schritt 1** der Verifikations-Tests stimmen gut mit den analytischen Voraussagen überein. Die analytische Voraussage wurde im Vorfeld der Verifikations-Tests auf Basis derselben Tankkonfiguration, bei einem Füllgrad von 50 % mit Wasser, einer Bedrückung auf 4 bar (Differenzdruck) sowie einer Aufspannung auf den Aufhängungsring, jedoch ohne Simulation des Vibrationstest- Aufspannvorrichtung sowie ohne Simulation einer Gleittisch Rotation erstellt.

Ebenso stimmen die **Testergebnisse von Schritt 2** der Verifikations-Tests gut mit der analytischen Voraussage überein. Die analytische Voraussage, beschrieben im Report OST26-RIBRE-TN-0013, Ausgabe 3, wurde ebenso auf Basis derselben Tankkonfiguration wie im Test erstellt:

- Testmedium Wasser
- Tankfüllgrad 97%
- Tankdruck 14bar (Differenz)
- Aufspannung auf den Aufhängungsring

Für die Schritt 2 lateralen Richtungen wurde die Flexibilität der Aufspannvorrichtung sowie die Rotation des Gleittisches (Neigungs-Effekt) mit in der Testvoraussage berücksichtigt. Dies beeinflusst den fundamentalen Mode des Tanks mit großer effektiver Masse.

Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

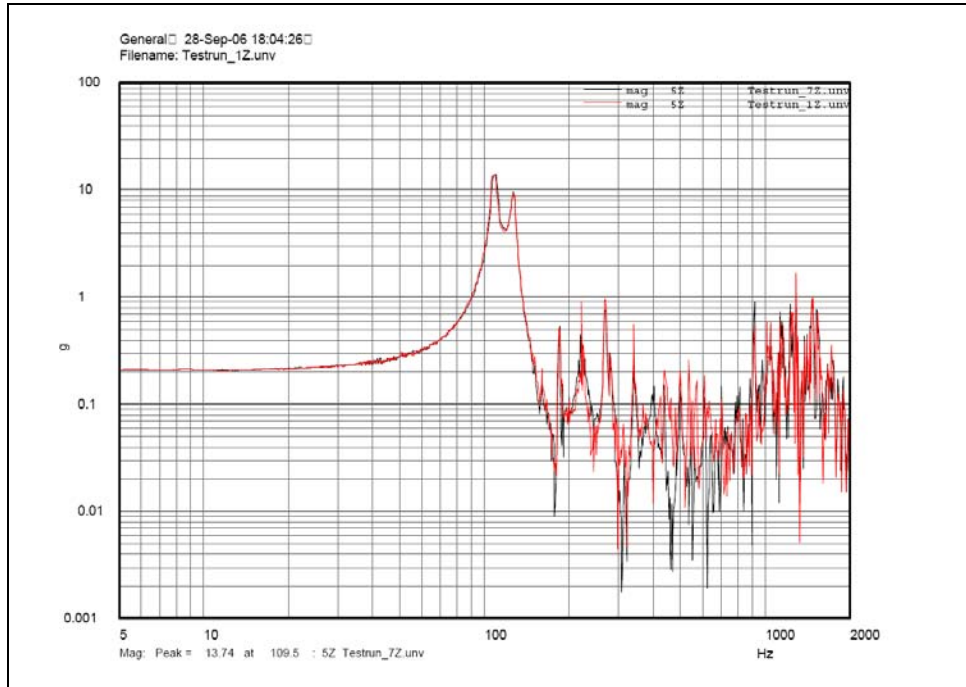


Abbildung 46: Vergleich der Treibstoff Port Antwort 5Z während des ersten und letzten Resonanz-Suchlaufes: Test - Läufe 1Z & 7Z (Schritt 1)

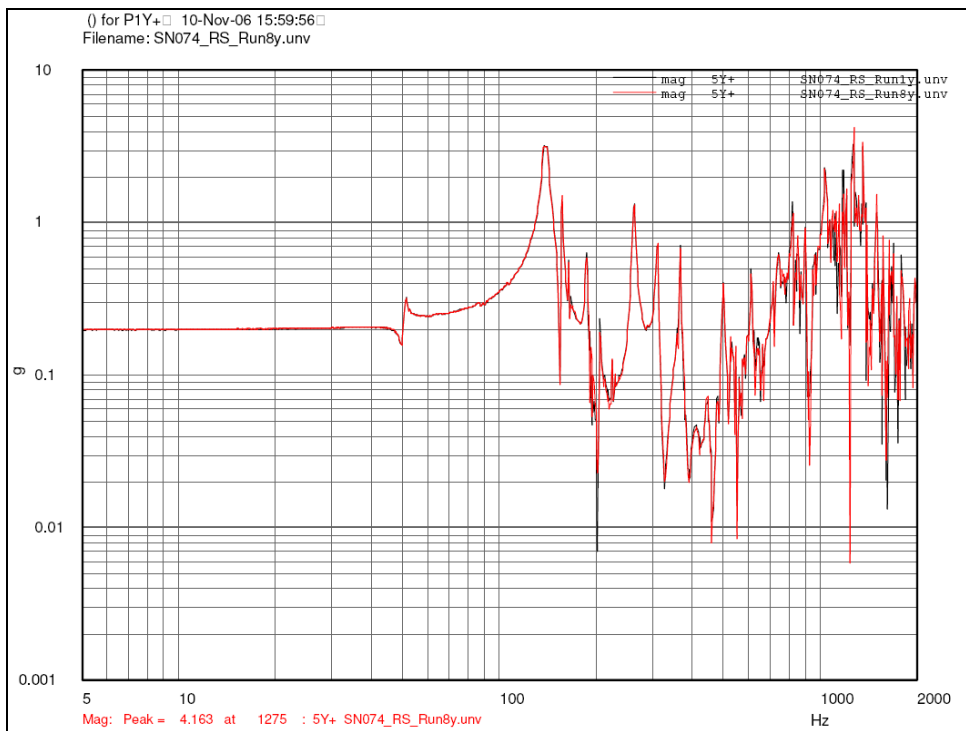


Abbildung 47: Vergleich der Treibstoff Port Antwort 5Y während des ersten und letzten Resonanz-Suchlaufes: Test - Läufe 1Y & 8Y (Schritt 1)

Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

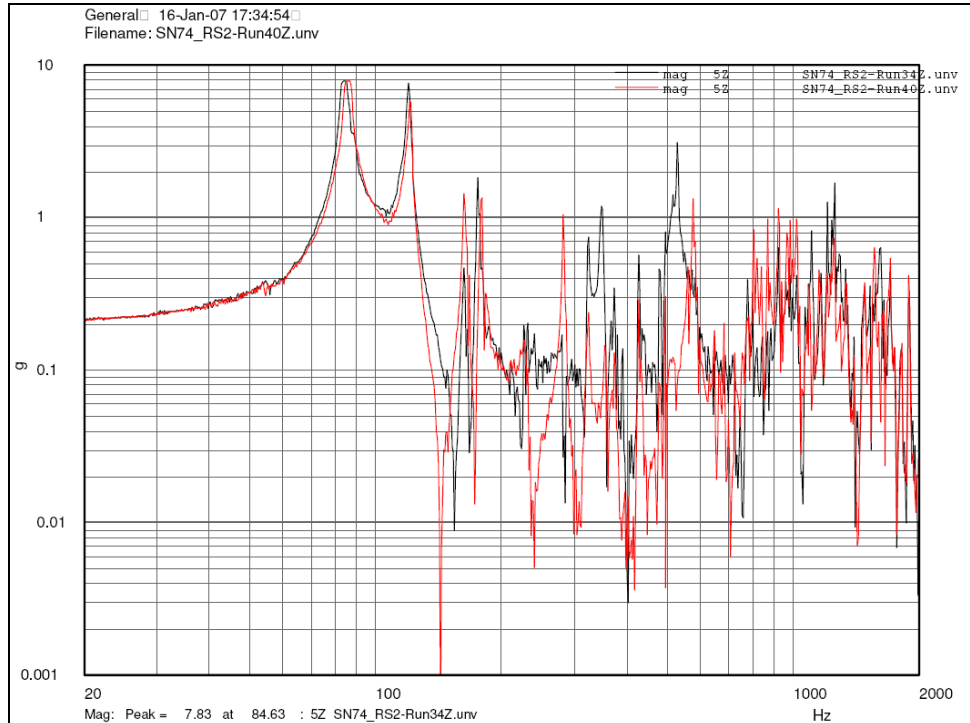


Abbildung 48: Vergleich der Treibstoff Port Antwort 5Z während des ersten und letzten Resonanz-Suchlaufes: Test - Läufe 34Z & 40Z (Schritt 2)

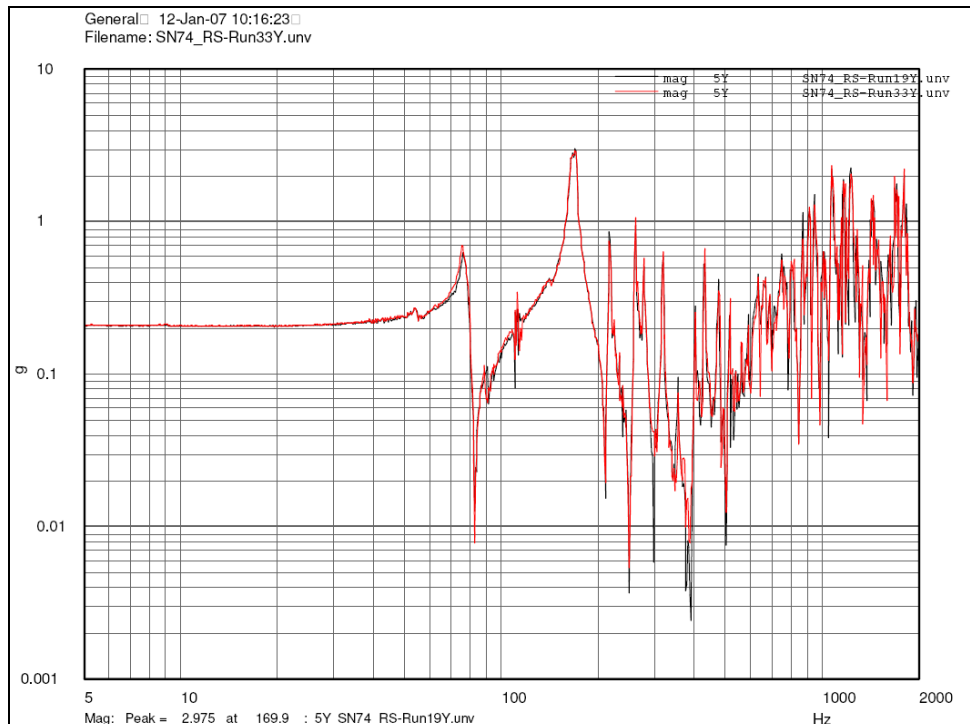


Abbildung 49: Vergleich der Treibstoff Port Antwort 5Y während des ersten und letzten Resonanz-Suchlaufes: Test - Läufe 19Y & 33Y (Schritt 2)

Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

Aufgetretene Anomalie:

Während der Durchführung von NDI Untersuchungen nach der Durchführung der EQM-Tank Vibrations tests trat eine akustische Anomalie als ungewöhnliches Geräusch bei der Bewegung des Tanks auf. Durch zusätzliche Röntgenuntersuchungen zeigte sich, dass im PRR montierte Entlüftungsrohr an der Halterung abgebrochen ist und sicher innerhalb des PRRs befindlich.

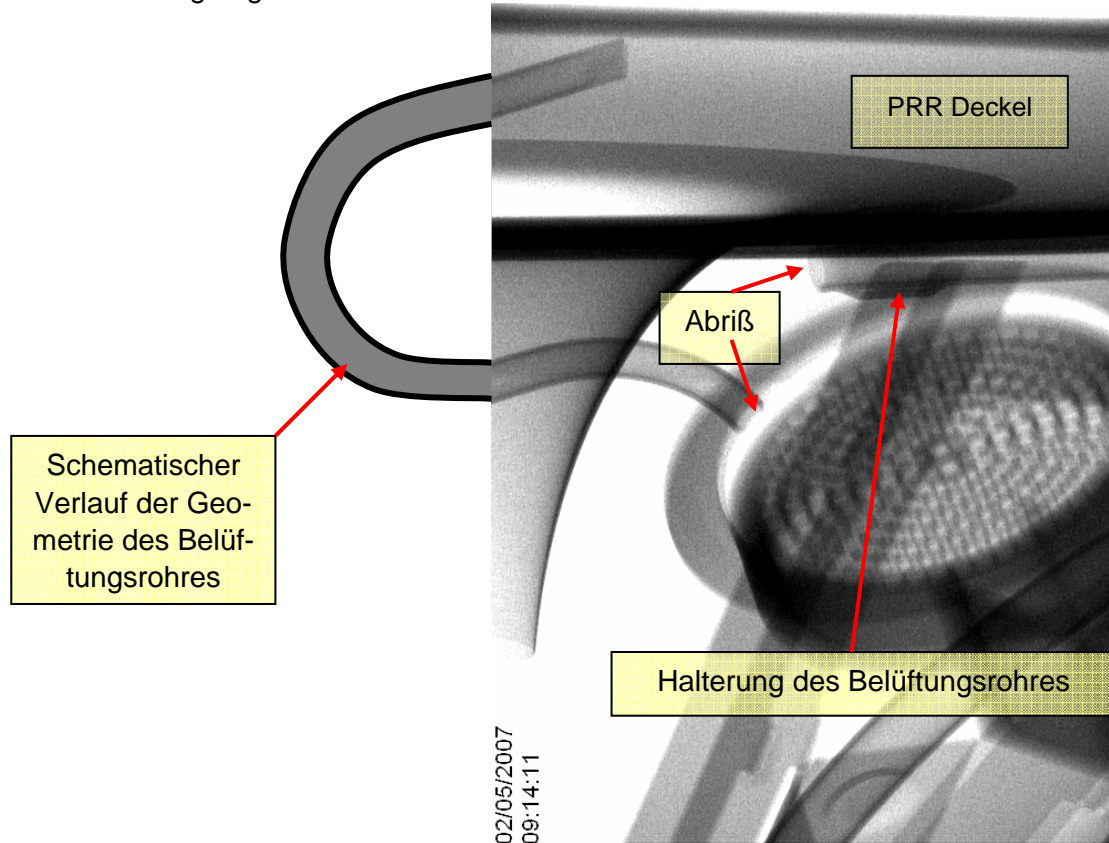


Abbildung 50: Röntgenbild, welche das abgebrochene und im PRR befindliche Entlüftungsrohr zeigt.

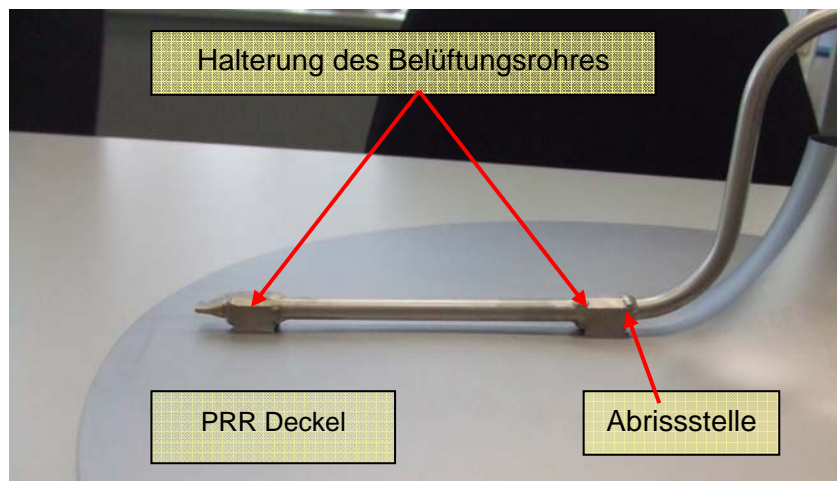


Abbildung 51: Beschreibung der Abrissstelle des Entlüftungsrohres

Ein Grund für die Anomalie war, dass die maximale Belastung im PRR Bereich, d.h. der Venting "TUBE", nicht bei dem halbvollen Tank, sondern beim vollen Tank erreicht wird, was im Rahmen der Verifikations-Tests in Erscheinung trat. Im Rahmen der Qualifikation der Tankfamilie wurde durch eine Designänderung schließlich das Belüftungsrohr für die vergrößerten Tanks nachqualifiziert. Diese Nachqualifikation wurde außerhalb dieses Vorhabens durchgeführt.

2.1.4.3 Verifikation der funktionalen Integrität

Die Verifikation der funktionalen Integrität des EQM-Tanks erfolgte vor und nach der Durchführung der Vibrationstests anhand der folgenden Messungen:

1. Bestimmung des Bubble Point Druckes an den PRR Siebadaptoren sowie
2. Ermittlung des Tankdruckverlustes beim Fördern eines Testmediums bei verschiedenen Volumenströmen.
3. Ausfluss-Effektivität zur Bestimmung der Flüssigkeitsrestmenge beim Ausströmen unter Laborbedingungen

Als Testmedium diente in den Messungen IPA als Testflüssigkeit und GN2 als Testgas.

	Bubble Point [mbar]			
	Minimum Anforderung	Vor Schritt 1	Nach Schritt 1	Nach Schritt 2
Obere Sieb Adapter	15	23,0	23,5	23,0
Sumpf Siebe	15	22,5	22,0	22,0

Tabelle 5: Bubble Point Messungen vor/während und nach den Vibrationstests am EQM-Tank SN74

Volumenstrom [cm ³ /s]	Druckabfall [mbar]			
	Maximum Anforderung	Vor Schritt 1	Nach Schritt 1	Nach Schritt 2
120	190	163	162	162
90	110	95	99	98
60	60	50	52	52
25	15	12	11,5	11,5

Tabelle 6: Messungen des Druckabfalls vor/während und nach den Vibrationstests am EQM-Tank SN74

	Ausfluss-Effektivität [%]			
	Minimum Anforderung	Vor Schritt 1	Nach Schritt 1	Nach Schritt 2
Bedingungen zum Lebensende	99,5	99,83	99,83	99,82

Tabelle 7: Ausfluss-Effektivität vor/während und nach den Vibrationstests am EQM-Tank SN74 zur Bestimmung der Flüssigkeitsrestmenge beim Ausströmen unter Laborbedingungen, wobei eine Umrechnung der Bedingungen auf das Lebensende des Satelliten erfolgte.

2.1.4.4 Zusammenfassung zum Arbeitspaket Verifikations-Tests

Zusammenfassend können folgende Aussagen nach Durchführung aller Verifikations-Tests (Schritt 1 + Schritt 2 sowie die funktionelle Verifikation) getroffen werden:

- Die Tests wurde gemäß der dynamischen Anforderungen durchgeführt
- Es zeigte sich eine gute Übereinstimmung zwischen der Testvoraussage und der erzielten Meßergebnisse innerhalb der Anforderungen. Damit wird die Analyse validiert und sichergestellt, dass die auf den EQM-Tank applizierten Belastungen treffend für die Ähnlichkeits-Qualifikation (engl.: Qualification by similarity) der gesamten vergrößerten Tankfamilie ist.
- Die gemessenen Belastungen am PRR sind innerhalb der für das PRR dimensionierenden Belastungsgrenzen.
- Ein Vergleich der Resonanz-Suchläufe zeigt keine Änderungen in der dynamischen Charakteristik, was darauf hinweist, dass kein struktureller Schaden am Tank während der Vibrations-tests aufgetreten ist.
- Die Verifikations-Tests zeigten, dass die Testanlage bei Astrium GmbH kompatibel mit PFM Vibrationstests und entsprechenden erhöhten Angriffsbelastungen an den vergrößerten OST26 Tanks ist.
- Die funktionale Integrität des PRRs wurde vor/während und nach den Vibrationstests (Schritt 1 + Schritt 2) überprüft und erfolgreich nachgewiesen.
- Während der Vibrationstests zeigte sich bei der Qualifikation des PRRs eine Anomalie dahingehend, dass das im PRR montierte Entlüftungsrohr während der Verifikations-Tests abgebrochen ist. Eine Nachqualifikation des Entlüftungsrohres erfolgte im Rahmen der Qualifikation der Tankfamilie außerhalb dieses Vorhabens.

Die Arbeiten sowie die detaillierten Ergebnisse dieses Arbeitspaketes sind in den folgenden internen Berichten wiedergegeben:

- OST26_RIBRE-TRP-0001, Ausgabe 1 (Test Report der Verifikations-Tests)
- OST26-RIBRE-TP-0002, Ausgabe 4 (Test Prozedur zu den Verifikations-Tests)
- OST26-RIBRE-TN-0013, Ausgabe 3 (analytische Voraussage der Schritt 2 Tests)

2.1.5 Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse

Das Ziel des Vorhabens war die Durchführung einer detaillierten Machbarkeitsanalyse zur Erweiterung der technologischen Grundlagen, um kurzfristig extrem große Treibstofftanks entwickeln zu können. Im Rahmen des Vorhabens wurden dabei Untersuchungen in folgenden Arbeitspaketen durchgeführt:

1. Analysen zum Fluid Management
2. Analysen zur Strukturmechanik zur Erstellung einer Strukturmodell-Datenbank
3. Tests zur Erprobung der Kapillaren- Steighilfen
4. Verifikationstests mit dem Demonstrator-Tank Modell

Im Rahmen der Analysen zum Fluid Management wurde die funktionale Leistungsfähigkeit der vergrößerten Tankfamilie mit Bezug auf die gestiegenen Anforderungen vergrößerten Tanks erfolgreich verifiziert und qualifiziert. Von besonderem Interesse war hier das Schwappverhalten des Treibstoffes bei verschiedenen Transport- und Operationsbedingungen.

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks



Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

Die Ergebnisse der weiterhin durchgeführten detaillierten Analysen zur Strukturdynamik wurden in einer Datenbank zusammengestellt sowie in den Verifikations-Tests an dem Demonstrator-Tank-Modell, einem Original-Tank, verifiziert.

Während der Testdurchführung zur Verifikation der Kapillaren Steighilfen (Leitbleche) folgte die Notwendigkeit einer Modifikation zur Erhöhung der mechanischen Festigkeit an den Befestigungen der Leitbleche. Hierzu wurde ein neuer Gleitschuh zur Befestigung des Leitbleches entworfen und erfolgreich getestet.

Das Demonstrator-Tank-Modell wurde letztlich einer umfangreichen Versuchsserie unterworfen. Aufgabe der Versuchsserie war zu beweisen, dass funktionelle und strukturelle Analyseverfahren so präzise arbeiten, dass bei Folge-Entwicklungen auf die Zerstörung teurer Qualifikationseinheiten verzichtet werden kann. Neben der mechanischen Qualifikation der vergrößerten Tankkonfigurationen war ein weiteres wichtiges Ergebnis der Machbarkeits-Analyse die Identifikation und Beseitigung einer Schwachstelle im Bereich PRRs (Propellant Refillable Reservoir), welche erst mit der gesteigerter Tankgröße in Erscheinung trat. Dabei wurde im Rahmen Verifikationstests auf Tankebene festgestellt, dass die maximale Belastung im PRR Bereich, d.h. des Entlüftungsrohres, nicht bei dem halb-vollen Tank, sondern beim vollen Tank erreicht wird. Insbesondere wurde der Einfluss des vergrößerten Tanks bei diesem Test ersichtlich. Aus diesem Grunde ist eine Verbesserung der Halterung des Entlüftungsrohres und der Führung in Entwicklung gegangen.

Bezüglich der Durchführung weiterführender innovatorischer Schritte wird bemerkt, dass von Seiten der Satelliten-Primes zunehmend gefordert wird, dass ein horizontaler Transport der teilweise gefüllten Tanks auch bei möglichst geringen Tankfüllgraden (wie z.B. 50 %) durchgeführt werden kann, wie z.B. im Alphasbus-Programm gefordert. Diese Möglichkeit bietet das derzeitige OST-2 PRRs noch nicht, lässt sich jedoch durch eine Weiterentwicklung des OST-2 PRRs bzw. durch eine Fertig-Entwicklung des Astrium ST OST-4 PRRs erzielen.

2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Hier wird auf den kalkulatorischen Verwendungsnachweis des Vorhabens verwiesen.

2.3 Notwendigkeit der Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Ergebnisse des hier beschriebenen Vorhabens sind eine zwingende Voraussetzung zur Absicherung zukünftiger Partnerschaften mit den Europäischen Satellitenprimen. Die hierbei erzielten Erkenntnisse werden den in Deutschland bei Astrium GmbH vorhandenen Technologien zugute kommen und damit die Konkurrenzfähigkeit für Tankgrößen bis zu 1450 Litern gegenüber der US Konkurrenz sicherstellen.

Wie jede Machbarkeitsanalyse war auch das hier durchgeführte Vorhaben mit Risiko behaftet und es konnte, trotz hervorragender Expertise im Hause Astrium, der erwartete technische Erfolg nicht garantiert werden. Das Ergebnis der Machbarkeitsanalyse kann als Basis gesehen werden, um in Deutschland und Europa technologisch den gleichen Status auf dem Tank-Sektor zu erhalten, wie er in USA vorhanden ist. Zur Erhaltung der Deutschen Fähigkeiten und Marktanteile auf diesem Sektor war eine Förderung des Entwicklungsvorhabens durch Zuwendung des DLR dringend erforderlich.

2.4 Voraussichtliche Nutzen der Arbeit

Die Forschungsergebnisse haben eine grundlegend neue und breite Basis zur Auslegung, Entwicklung und Qualifikation großer Treibstofftanks für Satelliten geschaffen. Dies betrifft sowohl neue und verfeinerte Tank-Modellierungsverfahren wie eine neue umfangreiche Datenbank, jeweils geeicht durch Theorie und Versuch. Die Ergebnisse umfassen den gesamten Bereich einer Tankanalyse, die statische und dynamische Festigkeit der Tankschale und der Treibstoff-Orientierungseinbauten (Propellant Acquisition Vanes, PAV), das Schwingungs- Verhalten des befüllten Tanks im Zusammenwirken mit der Satellitenstruktur während der hoch belastenden Aufstiegsphase in der Trägerrakete sowie letztlich das Verhalten des Treibstoffes im schwerelosen Zustand und bei Entnahme zum Betrieb der Satelliten-Triebwerke. Die Ergebnisse des Vorhabens haben die Grundlage geschaffen, um eine Beauftragung zur Fertigung von Flugtanks im Rahmen der Projekte Ciel2, W2A und W7 für Satellitenkunden SES American und Eutelsat erhalten.

2.5 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Es gibt weltweit 4 bis 5 namhafte Hersteller von Treibstofftanks für Satelliten, die den Weltmarkt bedienen. Absolut führend bleibt die Firma Alliant Techsystems Incorporation ATK, ehemals Pressure Systems Incorporation PSI, die mit über 5000 produzierten Tanks und dem größten Arsenal an Tank-Typen und Größen alle anderen Hersteller weit übertreffen. ATK und ARDE beherrschen mit ihren Produkten weitgehend den US-Markt.

Die Produktpaletten der Hersteller reichen von einfachen Tankbehältern ohne jegliche Einbauten bis hin zu Tanks mit "Treibstoff-Management-Einbauten" (Propellant Management Devices, PMDs), die eine blasenfreie Ausförderung des Treibstoffes unter schwerelosem Zustand ermöglichen. Zu den PMD-Tanks gehören Membran-Tanks, Bladder-Tanks und Oberflächenspannungstanks. In den großen GEO-Satelliten werden ausschließlich Oberflächenspannungstanks eingesetzt.

Da Snecma alle Aktivitäten inzwischen eingestellt hat und MT Aerospace keine eigenen PMDs entwickelt, besitzen derzeit nur zwei Firmen die komplette Fähigkeit, größte Oberflächenspannungstanks für größte GEOs zu entwickeln und zu produzieren:

Technologien für Oberflächen-Spannungs-Tanks



Förderkennzeichen: 50JR0692

Interne Dokument Nr.: OST26-RIBRE-RP-0003, Ausgabe 1, 26.10.2007

- Alliant Techsystems ATK, Lieferant größter Oberflächenspannungstanks in USA
- Astrium GmbH, Lieferant der größten Oberflächenspannungstanks in Europa

Ein deutlicher Wettbewerbsnachteil kennzeichnete jedoch die Situation der Europäischen Satelliten- und Tankindustrie Industrie, denn Tanks über 1200 Liter Volumen waren in Europa nicht verfügbar, während der US Hersteller diverse Größen bis hin zu 1920 Liter "ab Lager" liefern kann.

Zur Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit sowohl der Europäischen Satellitenhersteller wie auch der Tankhersteller war daher eine Vergrößerung und Weiterentwicklung der GEO-Treibstofftanks für den Bereich künftiger Marktanforderungen dringend erforderlich. Im Alphas-Programm für Tankgrößen im Bereich 1600 Liter bis 1910 Liter befindet sich in Europa durch MT-Aerospace in Augsburg eine weitere Tankentwicklung im Fortgang. Die PMD Entwicklung wird durch Astrium-SAS, Toulouse, geführt. Der Qualifikationsabschluss dieser Tankgrößen sowie die Lieferung erster Flugtanks wird für 2008 erwartet.

2.6 Geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

Im Moment sind keine Veröffentlichungen der Ergebnisse geplant.