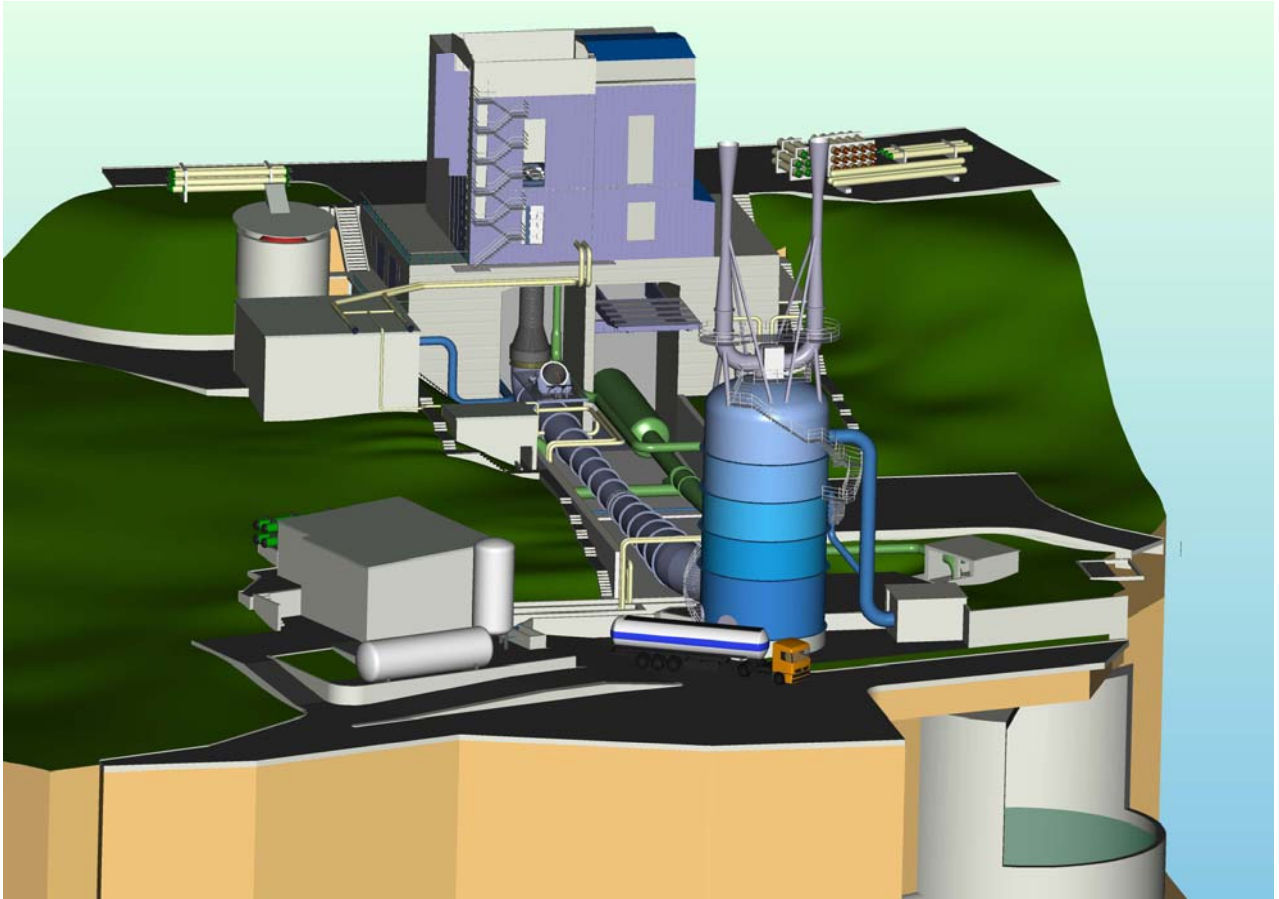
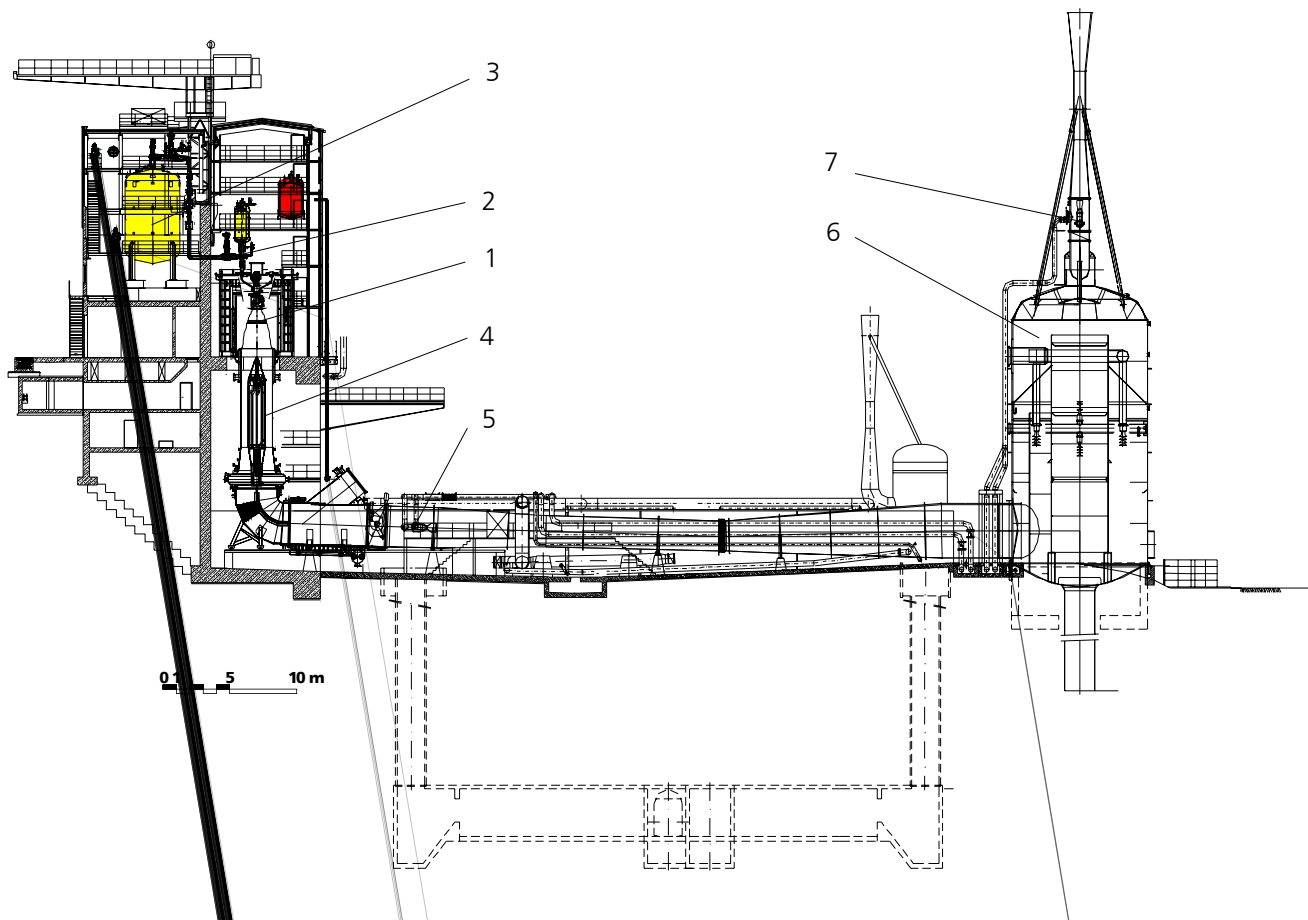


## Institut für Raumfahrtantriebe



Vakuumprüfstand P4.1



Seitenansicht Prüfstand P4.1 mit den einzelnen Komponenten

## Einleitung

Raketentriebwerke, die in Oberstufen, Satelliten oder Raumsonden verwendet werden, arbeiten alle unter Umgebungsbedingungen in denen Vakuum vorherrscht. Diese Vakuumbedingungen beeinflussen die Zündung des Triebwerks wegen der veränderten Treibstoffaufbereitung. Das Triebwerk entwickelt einen höheren Schub und erfährt dadurch eine höhere Belastung. Auch der Thermalhaushalt unterliegt im Vakuum anderen physikalischen Gesetzen als unter Bodenbedingungen, denn es gibt dort keine Konvektion. Um diese Bedingungen exakt simulieren zu können, sind Vakuumprüfstände wie der P4.1 notwendig, die in der Lage sind bei laufendem Triebwerk eine Umgebung mit wenigen Millibar Luftdruck herzustellen. Beim DLR-Lampoldshausen gibt es verschiedene Vakuumprüfstände. Am P1.0 werden Antriebe von Satelliten bis 600 N Schub getestet,

am P4.2 wird der derzeitige Antrieb der Ariane 5 Oberstufe (Triebwerk AESTUS mit 27,5 kN Schub) erprobt und am P4.1 wird der zukünftige Oberstufenantrieb der Ariane 5 (Triebwerk VINCI mit 180 kN) entwickelt.

## Prüfstand P4.1

Zuerst wird hier die prinzipielle Funktion eines Vakuumprüfstand anhand des Bilds oben erläutert: Das Triebwerk befindet sich in der Vakuumkammer (1) und wird über das Förder-system (2) mit Treibstoff aus den Tanks (3) versorgt. Das Abgas des Triebwerks tritt senkrecht nach unten in den Überschalldiffusor aus. Der Überschall-Kerndiffusor (4) ist ein zentrales Bauteil zum Betrieb des Prüfstand P4.1 Der Überschalldiffusor wird bei den VINCI-Triebwerkstests benötigt, um die mit mehrfacher Schallgeschwindigkeit aus dem Triebwerk austretenden Abgase (reiner

Wasserdampf, da das Triebwerk flüssigen Wasserstoff und flüssigen Sauerstoff zu Wasser verbrennt) kontrolliert auf Unterschall abzubremesen, und um die Gase ohne große Druckverluste in die Vakuumanlage zu leiten. Damit ist es möglich, bei laufendem Triebwerk, die Umgebungsbedingungen des Weltalls (Vakuum), zu simulieren. In der ersten Ejektorstufe (5) wird das Abgas abgesaugt und in den Kondensator (6) befördert. Dort wird das Abgas mittels kaltem Wasser gekühlt und der Wasserdampfanteil auskondensiert. Das Restgas wird durch die zweite Ejektorstufe (7) abgesaugt und vollends auf Umgebungsdruck gebracht. Alle Ejektorstufen des P4.1 werden mit insgesamt 226 kg/s Dampf gespeist.

## Technische Beschreibung der einzelnen Anlagenkomponenten:

### Triebwerksversorgung

Das VINCI-Triebwerk verwendet flüssigen Wasserstoff (LH2) sowie flüssigen Sauerstoff (LOX) als Treibstoffe. In den Behältern (Fahr- und Puffertanks) sind 135 m<sup>3</sup> flüssiger Wasserstoff bei 20 K und 50 m<sup>3</sup> flüssiger Sauerstoff bei 90 K Lagertemperatur gespeichert. Beim Versuch müssen die flüssigen Treibstoffe über die vakuum-isolierten Treibstoffleitungen zu den Turbopumpen des Triebwerkes in der Vakuumkammer gefördert werden. Das wird erreicht, indem die Tanks mit gasförmigen Wasserstoff bzw. gasförmigen Stickstoff bedrückt werden. Die Befüllung der Treibstofftanks geschieht während der Vorbereitungsphasen aus dem Wasserstoff-Tank des Treibstofflagers bzw. aus dem Sauerstoff-Tank des Dampferzeugergebäudes, die über ebenfalls vakuum-isolierte Leitungen mit dem Prüfstand verbunden sind.



Einbau Tank für flüssigen Wasserstoff

### Gaseversorgung

Neben der Versorgung mit Treibstoffen ist die Versorgung sowohl des Triebwerkes als auch der Prüfstandssysteme selbst mit verschiedenen Gasen (Stickstoff, Helium, Wasserstoff, Sauerstoff, und Propan) bei unterschiedlichen Drücken (bis zu 320 bar) und zugehörigem Durchsatz (bis zu mehreren Kilogramm pro Sekunde) not-

wendig. Es sind daher Gaseversorgungssysteme im Prüfstand integriert. Als Schwerpunkt dieser Anwendung lassen sich aufführen:

- Versorgung des Triebwerkes mit 45 (30 – 60) bar Helium als Steuer- und Spülmedium
- Versorgung des Triebwerkzündsystemes mit 200 bar Wasserstoff und Sauerstoff
- Versorgung des Triebwerkzündsystemes mit 80 bar Helium als Spülmedium
- Tankbedrückung zur Treibstoffförderung
- Ausblasen der Treibstoffe nach Versuch aus dem Triebwerk und aus den Leitungen
- Spülen und Aufwärmen der Leitungen um Treibstoffreste zu entfernen
- Spülen bzw. Verdünnen von möglicherweise auftretenden Leckagen
- Sicherheitsbedrückung und Inertisieren von Leitungen und Gehäusen durch Stickstoff oder Helium
- Anwendungen als Sperrgas
- Versorgung von Brennern zum gezielten Abbrennen von ausgeblasenem Wasserstoff
- Medium zum Antrieb der pneumatisch gesteuerten Prüfstandsventile.

### Höhenanlage Vakuumkammer

In der Vakuumkammer befindet sich das zu testende Triebwerk. Dort treffen sich die notwendigen Treibstoff- und Gaseversorgungsleitungen. Die Kammer hat ein Gewicht von 85 t. Unterhalb der Höhenkammer befindet sich der Überschallkerndiffusor.



Montage Vakuumkammer

### Höhenanlage Überschalldiffusor

Im Überschalldiffusor werden die Triebwerksabgase von Überschallgeschwindigkeit (größer Mach 5 und Staupunkttemperatur > 3000 Kelvin) auf Unterschallgeschwindigkeit (ca. Mach 0,3) abgebremst und rückverdichtet. Dieses Bauteil ist das Kernstück der Höhenanlage. Der Überschallkerndiffusor des P4.1 ist das größte in Europa verwendete Bauteil dieser Art.



Montage Überschallkerndiffusor

### Höhenanlage Kondensator

Im Kondensator wird das eintretende Abgas mit 4m<sup>3</sup> Wasser pro Sekunde besprüht und der Wasseranteil wird auskondensiert. Der Kondensator musste hier in Lampoldshausen auf

der Baustelle zusammengebaut werden, da er für einen Straßentransport zu groß gewesen wäre. Es wurden 450t Stahl verbaut und das Volumen des Kondensors beträgt ca. 1500 m<sup>3</sup>.



Kondensator

### Mechanische Vakuumpumpen

Vor einem Versuch werden die Höhenkammer sowie Teile der Höhenanlage evakuiert. Hierfür stehen mehrere Vakuumpumpen zur Verfügung:

- eine Wasserringpumpe als Vorpumpe bis 100 mbar
- zwei Vakuumpumpsätze für Drücke im Millibarbereich

### Kühlwasserversorgung

Der Prüfstand wird mit Kühlwasser aus den drei Hochbehältern des Versuchsgeländes über zwei Leitungen mit 1 bzw. 1,2 Meter Durchmesser versorgt. Der Gesamtvorrat beträgt ca. 6000 m<sup>3</sup> Kühlwasser, das über eine Kühlanlage auf ca. 7°C abgekühlt wird. Einen weiteren Vorrat bildet das etwa 300 m<sup>3</sup> fassende Wasserreservoir, welches unterhalb des Pumpenraums in den Prüfstand integriert ist. Dieser Vorrat ist als Löschwasser und zur Speisung der Dampferzeuger vorgesehen. Der geodätische Wasserdruck aus den Hochbehältern ist nicht für alle Anforderungen ausreichend. Zur Druckerhöhung dienen zwei Wasserpumpen mit jeweils 1300 kW Leistung.



Kühlwasser Druckerhöhungspumpen

### Prüfstandssteuerung und Messdatenerfassung

Im Zuge der Umbauten des Prüfstandes P4.1 wurde im Herbst 2002 auch die gesamte Computeranlage des Prüfstandes erweitert. Für jeden Teil der Anlage (P4.1, P4.2 und Dampferzeuger) steht ein eigenständiges System, bestehend aus Front-End- und Back-End-Rechnern, zur Verfügung. Jedes einzelne System verfügt darüber hinaus über ein Backup-System. Für die Versuchsvorbereitung und –auswertung steht ein weiteres Computersystem zur Verfügung. Dieses sowie die Back-End-Rechner befinden sich im Kontrollraum im Gebäude M8.

Die Front-End-Rechner sind untereinander über ein optisches Hochleistungsnetzwerk sowie einen Hochgeschwindigkeitsspeicher (sog. Reflective Memory) verbunden, die Verbindung zu den Back-End-Rechnern erfolgt ebenfalls über optische Kabel. Allein am P4.1 kommen beispielsweise insgesamt 13 Front-End-Rechner für folgende Aufgaben zum Einsatz:

- LF-Datenerfassung (bis zu 864 Kanäle mit jeweils max. 1000 Hz Erfassungsrate)
- HF-Datenerfassung (bis zu 88 Kanäle mit jeweils max. 100 kHz)
- System-Steuerung (bis zu 1400 digitale Signale und diverse Steuerungssequenzen, Regelroutinen und Messwertüberwachungen)
- Backup-System-Steuerung

Das zur Versuchssteuerung eingesetzte MCC-System (Measurement & Control/Command) ist ein Echtzeitbetriebssystem, welches eine Genauigkeit von 1 Millisekunde ermöglicht. Da sämtliche Messwerte bereits während des Versuches zur Verfügung stehen ist es auf einfache Weise möglich, Berechnungen und Regelungen zu realisieren.

Zukünftig werden allein am P4.1 mit diesem Rechnersystem über 20 GB Daten während einer Triebwerkszündung von maximal 700 Sekunden Dauer erfasst.



Kontrollraum P4.1

## Dampferzeugeranlage

Der für den Betrieb der Vakuumanlage notwendige Dampf wird mittels Raketendampferzeugern produziert, die mit Alkohol und Flüssigsauerstoff (LOX) betrieben werden. Der Dampf verlässt die Dampferzeuger mit einem Druck von 22 bar und einer Temperatur von 210°C und wird in den Ejektoren auf Überschallgeschwindigkeit beschleunigt. Im Rahmen der Umbauten am P4.1 werden die bestehenden 40-kg/s-Dampferzeuger auf eine Leistung von je 50 kg/s Dampf umgebaut und um insgesamt drei weitere Dampferzeuger (2 x 55 kg/s Dampf und 1 x 16 kg/s Dampf) ergänzt. Alle fünf Dampferzeuger zusammen entwickeln eine thermische Leistung von 650 MW. Die Tankkapazitäten sind für eine Betriebsdauer von 1000 Sekunden ausgelegt. Die Treibstoffe sowie das zur Dampferzeugung benötigte Wasser werden mittels Pumpen gefördert, wobei jeder Dampferzeuger über eigene Pumpen verfügt. Neben den Treibstofftanks befinden sich am Dampferzeugergebäude noch 8 Hochdruckflaschen mit je 1 m<sup>3</sup> Volumen zur Speicherung von Stickstoff bei 320 bar. Dieser Stickstoff wird u. a. zum Ausblasen der Treibstoffleitungen nach Versuchsende und als Steuermedium der pneumatisch betätigten Ventile verwendet. Hierzu wird der Druck mit entsprechenden Regeleinrichtungen auf 8 – 40 bar reduziert.



Dampferzeugergebäude

## Allgemeines

Der Prüfstand P4.1 wurde errichtet, um das Triebwerk VINCI der neuen Ariane 5 Oberstufe zu entwickeln und zu testen. Das Triebwerk erzeugt bei einer Durchsatz von ca. 33 kg/s flüssigem Sauerstoff und 6 kg/s flüssigem Wasserstoff einen Schub von ca. 180 kN. Die Gesamthöhe des abgebildeten Triebwerks ist 4,2 m der Düsenenddurchmesser ist 2,15 m. Mit diesem Triebwerk und der zugehörigen Raketenstufe wird die Transportkapazität der Ariane 5 Trägerrakete von derzeit 6 Tonnen auf 12 Tonnen in den geostationären Transferorbit gesteigert. Der Baubeginn des Prüfstands war im Jahr 2000, der erste Heißlauf ist 2004 und der erste Flug der Oberstufe ist nach 2006 vorgesehen.



VINCI Triebwerk