

HeiDAS UH

FESTO



**Weltpremiere!
Heißdampfaerostat**

Info

HeiDAS UH – innovativer Senkrechtstarter mit Heißdampf



HeiDAS UH unter Dampf. Vor dem Start in der Peter-Behrens-Halle der Technischen Universität Berlin.

Aerostat

Ballons und Luftschiffe (Zeppelin als der bekannteste Vertreter) werden auch als Aerostaten bezeichnet, abgeleitet von Aerostatik der Luftfahrt aufgrund von unterschiedlichen Dichteverteilungen von Gasen. Ballone und Luftschiffe „schwimmen“ durch ihren statischen Auftrieb in der Luft ähnlich einem Schiff im Wasser. Ihre Fortbewegung wird daher als Fahren oder Leichter-als-Luft-Fahrt bezeichnet. Flugzeuge und Hubschrauber erzeugen ihren dynamischen Auftrieb durch Bewegungen durch die Luft (Fortbewegungsgeschwindigkeit bzw. Rotationsgeschwindigkeit). Ihre Fortbewegungsart nennt man Fliegen.

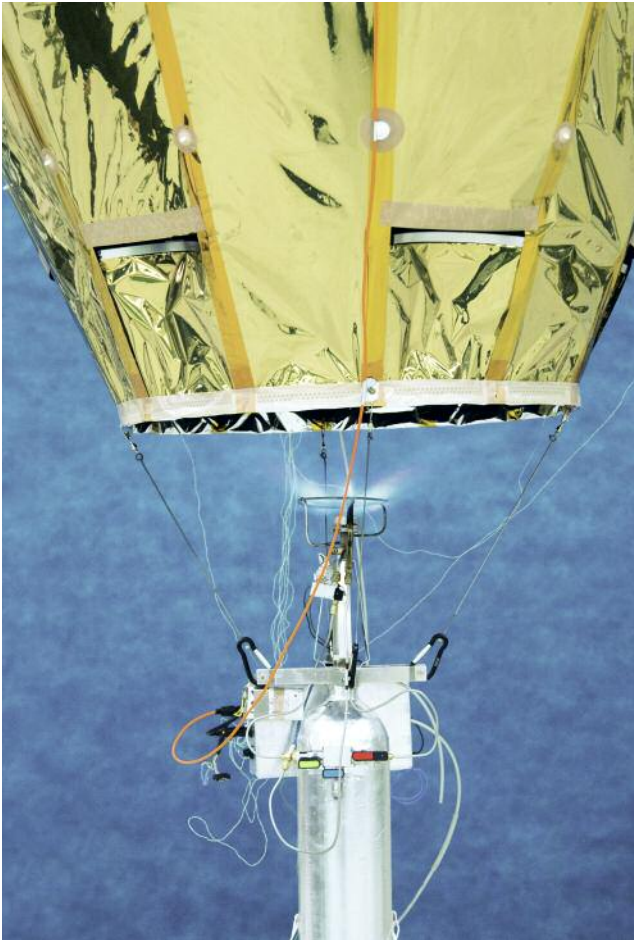
„Wenn du vorhast, dir das Land anzusehen, wenn du darauf rechnest, nach Lust und Gefallen auf- und niederzusteigen, so wird sich das nicht machen lassen ohne Gasverlust! Andere Mittel, vorwärts zu kommen, hat es bis jetzt noch nicht gegeben, und gerade der Gasverlust ist doch ein Hindernis für lange Luftschiffahrten gewesen!“ ...

„Meine Auf- und Abstiegsmittel bestehen einzig und allein in der Ausdehnung oder Verdichtung des im Innern des Luftschiffes eingeschlossenen Gases durch Anwendung verschiedener Temperaturen“; aus: Jules Verne „Fünf Wochen im Ballon“

HeiDAS steht für HeißDampfAeroStat und bezeichnet den weltweit ersten funktionsfähigen Ballon, der seinen Auftrieb von überhitztem Wasserdampf erhält.

Die Leistungsfähigkeit des HeiDAS UH (UH steht für ultraheiß) liegt zwischen der von Helium- und Heißluftballonen, bedient sich aber eines ausgesprochen preiswerten nichtbrennbaren, unsichtbaren Traggases – verdampften Wassers. Dampf besitzt fast drei Viertel des Auftriebs von Helium, aber mehr als 2,5-mal so viel Auftrieb wie der konventioneller Heißluftballone.

Am Anfang der langjährigen multidisziplinären Forschung zum HeiDAS stand die Frage, welche andere preiswerte Alternative des Traggases es in der Leichter-als-Luft-Fahrt geben kann. Helium ist teuer, während Heißluft nur ein Drittel der Tragkraft von Helium besitzt und zu sehr voluminösen und windanfälligen Konstruktionen mit begrenzten Leistungsparametern führt. Wasserstoff ist preiswerter und leistungsfähiger, aber brennbar und scheidet aus zuläs-



Gondel mit Bordmessrechner.



Wärmetauscher: Bei Temperaturen über 300°C getestet.

sungsrechtlichen Gründen aus. Als die Idee „Wasserdampf?!“ aufkam, wurde zuerst geschmunzelt, doch dann ernsthaft weitergedacht. Aber welche Materialien halten dem Dampf stand, wie hält man diesen auf Temperatur und vermeidet, dass der Dampf an der Hülle kondensiert? Erste Experimente zeigten, dass kondensierende Wassertropfen die Hülle erschweren und Kondensat durch zusätzlichen Aufwand wieder verdampft werden muss. Hier wäre der neue Ansatz beinahe verworfen worden. Durch einen neuartigen ultraleichten Super-Isolations-Flock-Dämmstoff bleibt der Dampf auch an der Hülle überhitzt. Eine der spannendsten und umfassendsten Neuentwicklungen in der Leichter-als-Luft-Fahrt begann. Im Jahr 2003 wurde der erste HeiDAS-Demonstrator fertig gestellt und eine Erstfahrt im Labor erfolgreich durchgeführt. Doch erst eine Revolution des Material- und Betriebskonzepts ermöglicht nun nach weiterer detaillierter Erprobung und Optimierung erste Fahrten im Freien.

Der Dampfballon ist in seiner Art und Konstruktion ein Novum. Er besteht aus einem isolierten Gasbehälter für 6,8 Kubikmeter Dampf und einem kegelförmigen Unterteil für die Beheizung mit Heißluft. Ein ferngesteuerter, regelbarer Propanbrenner erwärmt die Unterseite des Gasbehälters. Das ermöglicht den Ausgleich der verlorenen Wärme und die vertikale Steuerung. Dank der Isolation wird ein Bruchteil des Brennstoff benötigt, den ein vergleichbarer Heißluftballon verbraucht. HeiDAS UH ist unseres Wissens der heißeste Aerostat, der sich in die Lüfte erhob. Er gibt der Leichter-als-Luft-Technik eine neue, greifbare Vision.

Historisches

Zuschauer beim Start des ersten Wasserstoffballons am 27. August 1783 war der damalige amerikanische Botschafter in Frankreich, Benjamin Franklin. Als ihn jemand fragte, was diese neue Erfindung für einen Zweck habe, antwortete er mit der Gegenfrage: „Welchen Zweck hat ein neugeborenes Kind?“

Die ersten in der Luft fahrenden Menschen, Marquis d'Arlandes und Pilâtre de Rozière, erhoben sich am 21. November 1783 in einer Montgolfiere, benannt nach den gleichnamigen Brüdern Joseph und Etienne, zu einer halbstündigen Fahrt in die Luft. Nur 10 Tage später, am 1. Dezember 1783, startete der spätere Professor Jacques Charles in den Tuileries von Paris mit seinem Mitarbeiter Marie-Noel Robert in der „Charlière“ zu einer mehr als einstündigen Fahrt mit kontrollierter Zwischenlandung. Während dem Montgolfiere erhitzte Luft zum Auftrieb verhilft, wird die „Charlière“ vom leistungsfähigsten Auftriebsgas überhaupt – von Wasserstoff – getragen.

Bereits 1816 quantifizierte Sir George Cayley in einem Aufsatz zur Aerial Navigation in „The Philosophical Magazine and Journal“ den Leistungsvorteil von Dampf gegenüber Luft und bezifferte auch die Tatsache, dass eine erste Gasfüllung zwar mehr Energie kostet, aber der Widerstand eines folglich kleineren Aerostaten auch deutlich geringer ausfällt. Knapp einhundert Jahre später, im Jahr 1908, erhob Dr. Hugo Erdmann in Charlottenburg Patentansprüche auf die Verwendung von überhitztem Wasserdampf als Füllgas für



Dampfaustritt am Diffusor. Erst durch Kondensation wird der Dampf sichtbar.

Luftfahrzeuge und auf jegliches Füllgas, welches aus Dampf und der Beimengung von anderen Gasen und Gasgemischen besteht. Er schlug auch vor, den Ballon mit Eiderdaunen zu isolieren. Doch erst innovative Materialien und Bauweisen sowie modernste Entwicklungsmethoden ermöglichen heute erfolgreich in die Tat umzusetzen, was schon vor einhundert Jahren erdacht und patentiert worden war.

Dampf als Traggas

Wasserdampf ist bei 120°C nur halb so schwer wie Heißluft und liefert also den doppelten Auftrieb gegenüber Luft gleicher Temperatur. Mit dem Energieinhalt von einem Kilogramm Propan werden ca. 15 kg Wasser verdampft, diese Menge Dampf füllt ein Volumen von 25 m³ und kann so etwa 15 kg Auftrieb erzeugen. Möchte man den gleichen Auftrieb mit Helium erzielen, so benötigt man 15 m³ des Edelgases. Die Kosten dafür liegen bei mehreren Hundert Euro, also um Faktor 10 und mehr höher als bei Dampf.

Für die Befüllung eines Heißdampfaerostaten sind in kurzer Zeit große Mengen Wasserdampf bereitzustellen. Ein klassischer Dampferzeuger erzeugt Satttdampf in einem Kessel, für die Trocknung bzw. Überhitzung auf Temperaturen über 100°C muss ein Überhitzer nachgeschaltet werden. HeiDAS bedient sich hingegen einer innovativen Art der Dampferzeugung, die der Raumfahrt entlehnt ist. Wie in einem Raketentriebwerk reagieren in einem mobilen Dampferzeuger Wasserstoff und Sauerstoff bei 3000°C zu Wasserdampf.

Wasserdampf

In der Umgangssprache versteht man unter Wasserdampf meist die sichtbaren Dampfschwaden von teilweise bereits kondensierendem Wasserdampf (Nassdampf), wie er auch als Nebel oder in Wolken vorkommt. Im technisch-naturwissenschaftlichen Kontext ist Wasserdampf gasförmiges Wasser, das in diesem Aggregatzustand unsichtbar ist wie Luft. Ein Überhitzer ist ein Teil einer Kesselanlage, bei der Wasserdampf über seine Verdampfungstemperatur hinaus weiter erhitzt wird. Dies wird erreicht, indem der Nassdampf nochmals erhitzt wird. Diesen Dampf nennt man dann Heißdampf, er ist vollkommen trocken und liegt mit seiner Temperatur oberhalb der Sättigungstemperatur (Rückkondensationspunkt).

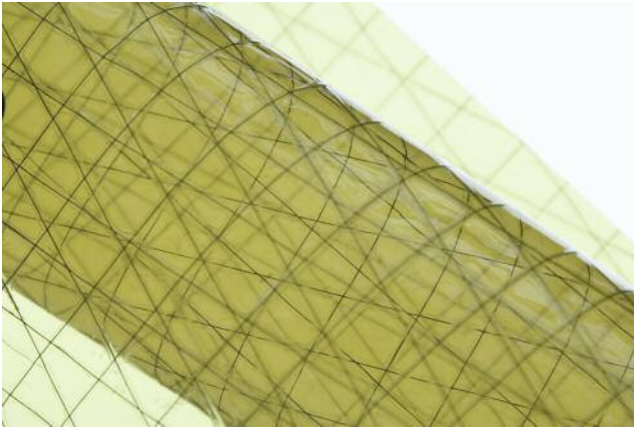
Der Reaktor selbst ist nicht größer als ein Tennisball.

Durch die Vermischung mit Kühlwasser erreicht der Dampf die gewünschte Temperatur im Bereich von 120°C bis 300°C. Die zwei Klein-Reaktoren füllen im Parallelbetrieb mit einer thermischen Leistung von 30 kW die 6,8 m³ des Dampfballons in weniger als 6 Minuten. Dieses zukunftsweisende Prinzip der Dampferzeugung bedient sich des viel versprechenden Energieträgers der Zukunft: Wasserstoff. Ein solcher Reaktor ist prädestiniert, um in sehr kurzer Zeit große Mengen überhitzten Dampfes mit hoher Reinheit bereitzustellen. Auf der Grundlage von Wasserstoff können in der Zukunft nicht nur Dampferzeuger, sondern auch Antriebe und Brenner betrieben werden.

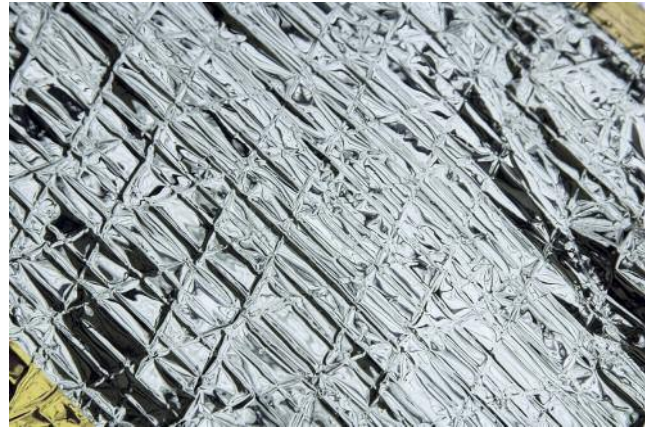
Aufbau und Wirkungsweise

Der HeiDAS-Ballon ist nach dem Rozière-Prinzip aufgebaut. Das Traggas befindet sich in einem kugelförmigen dichten Gasbehälter aus Folie und wird vor dem Start einmalig aufgefüllt. Damit der Dampf die hohen Temperaturen von bis zu 150°C im Fluge aufrecht erhält und nicht kondensiert, wird der Gasbehälter isoliert und die entweichende Wärme durch einen Wärmetauscher nachgeführt. Zwischen Wärmetauscher und Gondel erzeugt die Flamme eines Propanüberhitzerbrenners einen regelbaren Heißluftstrom. Dieser Heißluftstrom erwärmt den Wärmetauscher – wie einen Kesselboden aus transparentem Polymerfilm – auf Temperaturen von 260°C und mehr.

Analog zum Heißluftballon wird der Auftrieb durch die Wärmezufuhr des Brenners gesteigert. Der Ballon sinkt, wenn sich Heizgas und Traggas abkühlen. Anders als ein Gasballon benötigt HeiDAS damit keine Ballastgewichte und kann die Gewichtsabnahme während des Fluges durch eine entsprechende Dampf- und Temperaturregelung ausgleichen. Der durch die Verwendung von Dampf mehr als verdoppelte Auftrieb im Vergleich zu Heißluft kommt so uneingeschränkt einer größeren Nutzlast zugute. Die erforderliche Isolation trägt des Weiteren zur Einsparung von Brennstoff bei und macht so insbesondere bei längerer Flugdauer ihr Zusatzgewicht mehr als wieder gut.



Bahnbrechend: dampfdichte Folien halten 350°C stand.



Intelligent: Verspiegelungen reduzieren Wärmeverluste und Temperaturspitzen.

Neue Materialien und Materialkonzepte

Die technische Revolution wurde nicht allein durch die Verwendung von Dampf, sondern vielmehr durch die Entwicklung geeigneter Materialien und Materialkonzepte für Hüllentoff und Isolation erreicht.

Die HeiDAS-Hülle – ein isolierter Kessel aus Polymerfolien

Die HeiDAS-Hülle besteht aus flexiblen Polymerfolien. Wasserdampf und hohe Temperaturen führen bei den meisten Kunststoffen unweigerlich zur Degradierung, d. h. zur Versprödung und zu Festigkeitsverlust. Neue Materialien wie Silikone oder Fluorpolymere sind zwar wesentlich robuster, weisen aber keine ausreichende Dichtigkeit gegenüber Wasserdampf auf. Der erste HeiDAS-Demonstrator hatte eine gasdichte Beschichtung aus Silikon. Diese konnte Luft und sogar die viel kleineren Heliummoleküle in großem Maße halten. Allerdings entwich Wasserdampf durch die Membrane 200-mal so oft wie Edelgas. Damit stand das HeiDAS-Entwicklerteam vor der großen Herausforderung, ein völlig neues Material zu entwickeln: Das Ergebnis ist das HeiDAS Laminat – ein mit Aramid Filamentgarn verstärkter Polyimidfilm.

Der HeiDAS-Wärmetauscher wird auslegungsgemäß Temperaturen bis 260°C ausgesetzt. Dieser Temperatur halten nicht nur die verwendeten Polymerfolien, sondern auch die Hochleistungs-Klebeverbindungen auf Polysiloxan-Basis stand. Über 1000 Stunden wurden die Materialien und Klebeverbindungen in Vorversuchen bei Hochtemperatur- und Dampfbeanspruchung getestet. Auch nach kombinierter thermisch-mechanischer Beanspruchung zeigen Material und Fügung noch ein Vielfaches der geforderten Mindestfestigkeit – somit stand der Fertigung eines Modellballons aus diesem Material nichts im Wege.

Sogar kurzzeitige Temperaturen von über 310°C überstand die Hülle bei Tests völlig schadlos. Hierbei handelt es sich wahrscheinlich um die höchste, jemals an einer Ballonhülle absichtlich herbeigeführten Temperatur. Die Hülle des HeiDAS UH-Erprobungsträgers ist damit dampfdicht, temperatur- und dampfbeständig. Die Verspiegelung der Hülle verringert den Wärmeverlust.



Genial: Verspiegelter Flockdämmstoff. Ultraleicht und komprimierbar.

Super-Isolations-Flock-Dämmstoff

Für HeiDAS wurde die derzeit leichteste und leistungsfähigste Isolation entwickelt, welche in hohem Maße reversibel komprimierbar ist. Der neuartige Super-Isolations-Flock-Dämmstoff verhindert, dass der Wasserdampf an der Hüllwand kondensiert, und begrenzt den Energiebedarf, der erforderlich ist, um das Traggas auf einer Temperatur von bis zu 150°C zu halten. Die für den HeiDAS optimierte Dämmung wiegt nur 8,5 kg/m² und weist auch bei hohen Mittentemperaturen von knapp 100°C noch eine äußerst geringe Wärmeleitfähigkeit von nur 0,035 W/mK auf. Der Super-Isolations-Flock-Dämmstoff besteht aus einem Stapel Membranen, die durch aufgeflockte Faserbüschel auf Distanz gehalten werden. So entstehen übereinander liegende Luftschichten, so dass die Wärmeleitfähigkeit jener von ruhender Luft sehr nahe kommt.

HeiDAS ist die Pilotanwendung für den Super-Isolations-Flock-Dämmstoff. Durch die Optimierungen am HeiDAS UH konnte die Dicke der notwendigen Isolation von ursprünglich 21 mm auf nunmehr 7,5 mm reduziert werden. 7,5 mm stellen genau jenen Luftspalt dar, bei dem eine einzelne Isolationlage ihren besten Wirkungsgrad hat, d. h., bevor die Konvektion der isolierenden Luft verstärkt einsetzt.



Überhitzerbrenner mit Dralldüse. Letzter Check vor dem Start.

Ballonbrenner mit Dralldüse

Ein typisches herkömmliches Ballon-Brennersystem besteht aus Tank, Ventil, Zufuhrleitungen, Überhitzerwendeln und Einspritzdüsen. Die Vermischung von Brennstoff und Sauerstoff findet nach dem Austritt des gasförmigen Propans aus der Düse in einem quasi offenen Brennraum statt. Für HeiDAS war die Gestaltung eines eigenen Brenners erforderlich, da die Rozièrebauform nur einen geringen Abstand zwischen der Gondel und der Hülle am Wärmetauscher zulässt. Bei herkömmlichen kerzenförmigen Flammen wäre die lokale Temperaturspitze zu groß oder bei entsprechender Drosselung der Wärmeeintrag zu gering. Der eigens entwickelte HeiDAS UH-Brenner zeigt durch eine besondere Düsenform und die damit verbesserte Durchmischung des Brennstoffs mit der Umgebungsluft ein verbessertes Flambild und eine gleichmäßigere Temperaturverteilung am Wärmetauscher. Bei der Miniaturisierung des Brenners mit Düsendurchmessern von nur 2 zehntel Millimetern wurden technologische Grenzen erreicht. Zudem stand neben der Leistungsverbesserung die Massenminimierung im Mittelpunkt. Mit nur 58 g bei einer thermischen Leistung von knapp 70 kW unterbietet der HeiDAS UH-Brenner alle vergleichbaren bestehenden Brenner.

Der HeiDAS-Bordrechner

Der 16bit-Microcontroller erfasst über einen internen 12bit-Analog-Digital-Wandler die Temperatursignale, Dampfdruck, Höhe, Vertikalgeschwindigkeits- und Beschleunigungssignale, wertet diese



HeiDAS UH in der Luft: Über 30 Messflüge erfolgreich absolviert.

aus und überträgt sie mittels einer sicheren digitalen Funkverbindung (DECT-Standard) zum Boden, wo sie von einem Mess-PC erfasst und dargestellt werden können. Die Steuerung des Ballons kann wahlweise über eine herkömmliche Funkfernsteuerung, wie sie auch für Modellflugzeuge verwendet wird, oder den an die DECT-Funkstrecke angeschlossenen PC erfolgen. Dabei kann im manuellen Betrieb direkt der Brenner angesteuert und der Ballon so manövriert werden. Im automatischen Betrieb kann eine Sollhöhe oder Steigen/Sinken kommandiert werden, so dass das gewünschte Flugmanöver mittels des im Microcontroller implementierten Reglers ausgeführt wird.

Der Rechner übernimmt auch wesentliche Sicherheitsfunktionen. So wird der Brenner automatisch abgeschaltet, falls eine Temperatur gemessen wird, die den zugelassenen Wert von 260°C überschreitet. Auch oberhalb des zulässigen Innendrucks von 500 Pa wird der Brenner deaktiviert und das Überdruckventil geöffnet.

Mehr als nur ein Experiment

Große Aerostaten zu bauen ist naturgemäß einfacher, weil das Oberflächen-Volumenverhältnis günstiger ist und die Membrandicke vernachlässigbar wird. Da große Ballone jedoch höhere Kosten verursachen und sich schwer unter Laborbedingungen untersuchen lassen, wurde der HeiDAS UH-Erprobungsträger mit möglichst kleinen Dimensionen ausgelegt und gebaut. Grundlage der Auslegung und Optimierung bilden aufwändige numerische Simulationsprogramme, die alle Mechanismen des Wärmetransports wie Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung berücksichtigen. Diese Simulationsprogramme, validiert durch Versuche mit dem ersten HeiDAS-Erprobungsträger, gestatten eine präzise Voraussage des erreichbaren Auftriebs und der Temperaturverteilungen in Abhängigkeit vom Wärmestrom des Brenners und der daraus resultierenden Beheizungstemperatur.

Durch die Kombination von Theorie und Experiment verfügt das HeiDAS-Projekt über Werkzeuge, die die sichere Beschreibung und Dimensionierung großer Dampfballone ermöglichen. Derartige Entwicklungswerkzeuge übersteigen die derzeitigen Standards bei der Auslegung von Ballonen bei weitem und stellen insbesondere für eine spätere Zulassung dieser neuartigen Technologie eine wichtige Unterstützung dar.



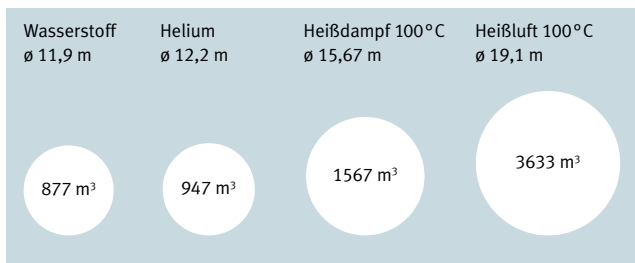
Helium trägt ca. 1 kg/m³.



Heißdampf trägt ca. 0,735 kg/m³.



Auftrieb eines Heißluftballons: ca. 0,275 kg/m³.



Größenvergleich: benötigtes Volumen der Auftriebsgase für 1.000 kg Auftrieb.

Dampfballon versus Heißluft- und Heliumballon

Konventionelle Heißluftballone erreichen einen Nennauftrieb von 0,275 kg/m³. Der auf das Gasvolumen bezogene und im Versuch gemessene Auftrieb beim HeiDAS UH beträgt 0,735 kg/m³. Der HeiDAS UH-Dampfballon kann also 2,5-mal so viel wie ein Heißluftballon und drei Viertel so viel wie ein Heliumballon mit gleichem Volumen heben. Während die Kosten des Traggases deutlich geringer sind, ist der Materialaufwand für Isolation und Hüllstoff höher. Im Vergleich zum Heliumballon, der, einmal mit dem Edelgas befüllt, möglichst lange im Einsatz bleibt, sind Heißluftballone und auch der HeiDAS UH leicht und schnell auf- und abzubauen und damit flexibler einsetzbar.

Temperaturen in °C	Heidas UH	HeiDAS 2003	Heißluftballon
Maximalwert Hülle	260	160	120
Mittelwert Gas	150	110	90
Mittelwert Hülle innen	140	100	50
Mittelwert Hülle aussen	80	45	50
Umgebung	23	23	10

Obenstehende Tabelle veranschaulicht den Unterschied im Temperaturniveau von Dampfballonen im Vergleich zu klassischen Heißluftballonen. Des Weiteren wird der große Entwicklungsfortschritt deutlich, der mit der 2. HeiDAS-Generation — dem HeiDAS UH — erreicht wurde. Durch das angehobene Temperaturniveau reduziert sich die Isolationsdicke von 23 mm auf 7,5 mm. Eine weitere Reduktion der Isolation wäre möglich, jedoch hätte dies auch einen Anstieg des Brennstoffverbrauchs zur Folge. Mit etwa 1,0 kg/h verbraucht der HeiDAS dank Isolation und trotz des viel höhe-

ren Temperaturniveaus weniger Propan als ein Heißluftballon mit gleicher Abflugmasse. Strebt man eine längere Flugdauer an, so ist es möglich, den Brennstoffverbrauch durch Hinzunahme von Isolation, aber bei gleichzeitiger Zunahme des Leergewichts noch weiter zu senken.

Ausblick

Die Komplexität und Neuartigkeit des Heißdampfballons erforderte Entwicklungsaufwand in vielen Disziplinen. Die größere Tragkraft, der geringere Brennstoffverbrauch und die Erprobung neuer Materialien und Berechnungsmethoden versprechen jedoch Potenziale weit über akademische Grenzen hinaus. Mit HeiDAS UH wurde nun der 2. Erprobungsträger entwickelt, welcher sich in zahlreichen Testfahrten bewährt hat. Das umfangreiche Testprogramm im Labor wurde im Sommer/Herbst 2005 erfolgreich absolviert.

Die ersten ferngesteuerten Frei-Fahrten des HeiDAS UH-Ballons fanden im November 2005 in der Peter-Behrens-Halle in Berlin statt. Derzeit wird eine automatisierte Flug-Steuerung für den Demonstrator entwickelt, welcher die sichere Kontrolle und die unbemannte Erprobung auch größerer Ballone ermöglicht.

Bevor Dampfballone und Dampfballonschiffe ihren Alltagsbetrieb aufnehmen, werden weitere Detaillösungen erarbeitet und Optimierungen durchgeführt werden müssen. Damit kann die Dampftechnologie der Leichter-als-Luft-Fahrt völlig neue Perspektiven eröffnen.

Nach den Projekten Upside Down Twin, Gasballon, UNICEF Flyer, pneumatischer Gasballonkorb und pneumatischer Heißluftballonkorb, Heißluft-Luftschiff, Airfish und b-IONIC Airfish, ist der HeiDAS UH eine weitere innovative Entwicklung für die Leichter-als-Luft-Fahrt, die für Festo im Rahmen von „Air in Air“ entwickelt wurde. Festo präsentiert sich im Bereich des Event Marketing ebenso innovativ, wie dies Festo im Kernkompetenzfeld der industriellen Automation mit pneumatischen und elektrischen Antrieben macht.



Projektteam der Technischen Universität Berlin

Technische Daten HeiDAS UH 6.8

Geometrie	
Dampfvolumen	6,8 m ³
Durchmesser	2,35 m
Höhe	3,8 m
Oberfläche	20 m ²
Verbaute Fläche	25 m ²
Massen	
Hülle insgesamt	2235 g
Isolation	870 g
Betriebsleermasse (großer Tank)	4060 g
Betriebsleermasse (kleiner Tank)	3580 g
Abflugmasse	4995 g
Max. Nutzlast	1000 g
Betriebsparameter	
Dampfbetriebstemperatur	110 bis 150°C
Max. Beheizungstemperatur	260°C
Max. Dampfdruck im Ballon	500 Pa
Wärmeleitwert der Isolation bei 90°C	0,035 W/mK
Gemessene stationäre Flugleistungen bei 25°C	
Auftrieb mit 150°C Dampf	5045 g
Propan Verbrauch (60s Mittel)	1,0 kg/h
Max. Flugdauer	35 min

Projektbeteiligte

Projektinitiator:

Dr. Wilfried Stoll, Aufsichtsratsvorsitzender der Festo AG

Fachgebietsleiter an der Technischen Universität Berlin:

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Thorbeck, Institut für Luft- und Raumfahrt,
Fachgebiet Luftfahrzeugbau und Leichtbau, Berlin

Projektleiter an der Technischen Universität Berlin:

Dr.-Ing. Alexander Bormann, Materialexperte, Gesamtentwurf
und Optimierung, Berlin

Wissenschaftliche Mitarbeiter an der Technischen Universität Berlin:

Dipl.-Ing. Stefan Skutnik, Spezialist für Thermodynamik und
elektronische Schaltungen, Berlin

Studentische Hilfskräfte an der Technischen Universität Berlin:

Martin Wähler, Milan Habovcik, Benjamin Driehorst, Max Stauffer,
Thomas Schmack, Yousif Abdel Gadir, André Bauerhin,
Christian Gebhardt

Projektleiter bei der Festo AG & Co. KG:

Dipl.-Ing. (FH) Markus Fischer, Corporate Design

Technische Beratung:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Axel Thallemer, Universität für industrielle
und künstlerische Gestaltung Linz, Österreich
Dr. Dipl.-Phys., Dipl.-Kfm. Werner Fischer, München

Luftschifftechnik:

AeroStatix, Fertigung und Vermessung des ersten
Erprobungsträgers HeiDAS 2003, Bereitstellung eines SGI Clusters
zur numerischen Simulation, Berlin

Isolation und Konfektionierung:

Institut für Textil- und Bekleidungstechnik, Technische Universität
Dresden, Prof. Dr.-Ing. habil. Hartmut Rödl,
Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Peter Offermann
Dr.-Ing. Christiane Freudenberg

Hydronic-Dampferzeuger:

Dipl.-Ing. Herrmann Kießler, Firma ABAG ITM, Pforzheim
Dr. Knoche, Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e.V.,
Quakenbrück
Dr. Paulus, Fraunhofer Patentstelle München

Grafik: Atelier Frank, Berlin

Fotos: Walter Fogel, Angelbachtal

Festo AG & Co. KG

Corporate Design
Rechbergstraße 3
73770 Denkendorf
www.festo.de
Telefon 07 11/347-38 80
Telefax 07 11/347-38 99
fish@de.festo.com