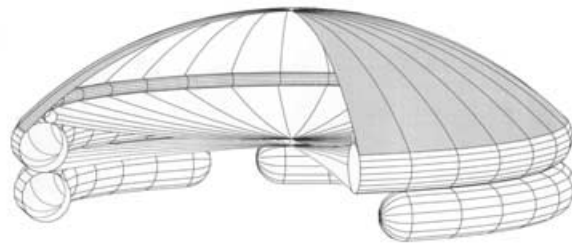
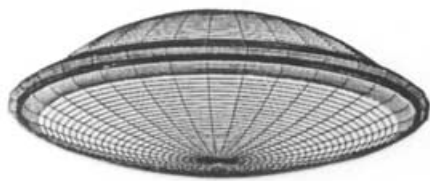


Neue Wege im Leichtbau



01

Leichtbau spart Energie, insbesondere bei Land- und Luftfahrzeugen durch die kleinere zu bewegende Masse, aber auch beim Transport und beim Auf- und Abbau von Leichtbauten. Spart Leichtbau auch Kosten? Diese Frage ist weitaus schwieriger zu beantworten. Extrem leichte Konstruktionen entstehen, indem leichte, hochfeste Materia-

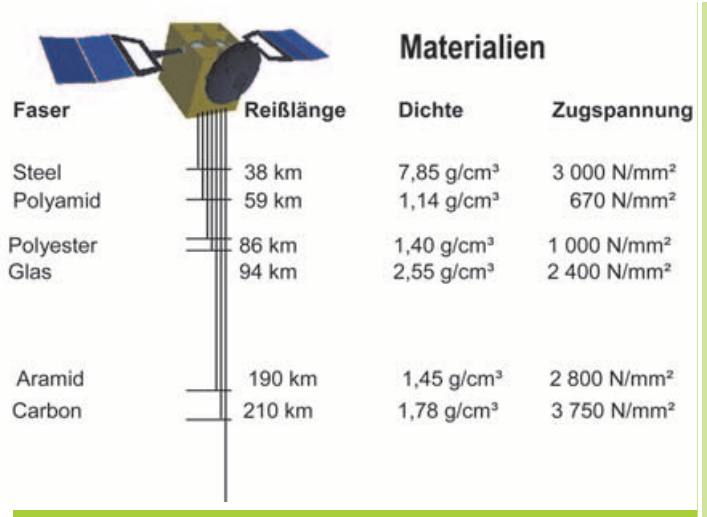
lien in eine optimale, trotz ihrer Dünnwandigkeit nicht stabilitätsgefährdete Form gebracht werden. Damit entstehen oft filigrane Konstruktionen. Sowohl die Materialien als auch die Herstellung sind aber kostenintensiv. Dieser Beitrag gibt einige Beispiele über traditionelle und zur Zeit eingeschlagene Wege und legt den Schwerpunkt dabei auf innendruckgestützte und fliegende Konstruktionen.

1. Stoff und Form

Leichtbau entsteht, wenn man möglichst wenig Stoff im Raum so anordnet, dass er eine vorbestimmte Funktion bestmöglich erfüllt. Aus diesem Satz kann man unmittelbar einige Grundsätze ablesen:

Leichtbau wird nicht allein durch das hochfeste und leichte Material bestimmt. Hochfeste leichte Materialien sind als Fasern seit mehr als zehn Jahren mit einer ca. dreißigfachen Reißlänge von Stahl entwickelt, so dass eine an einen erdnahen Satelliten gehängte Faser bis zur Erdoberfläche hinabreichen würde (01). Der Einsatz dieser Materialien ist jedoch schwierig, da sie sich nicht ohne weiteres zu einem duktilen, weiterreißfesten Gewebe verarbeiten lassen. Sprödigkeit und Feuchtigkeitsempfindlichkeit, UV-Empfindlichkeit sind einige der Hindernisse. So sieht man in (02), dass in nahezu allen bisher realisierten Projekten nicht die neuen hochfesten Materialien Verwendung fanden. Nur drei Projekte, die japanischen Projekte HAA und LAS sowie der CargoLifter Prototyp CL75 verwenden das hochfeste Vectran.

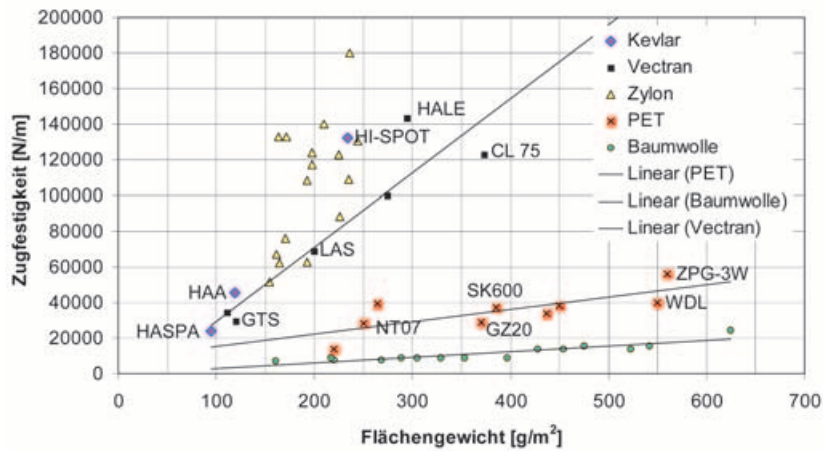
Leichtbau nutzt die Verteilung der Masse im Raum zum Transport der Kräfte und zerlegt das Tragwerk in Zug- und Druckglieder. Dies ist uns von Raumfachwerken bekannt. Wir sehen die klassische Form verwirklicht im Zeppelin von 1936 (03) und dessen moderne Weiterentwicklung im geplanten CargoLifter (04). Andere Formen des Leichtbaus sind zelluläre



Reißlänge einiger Materialien

01

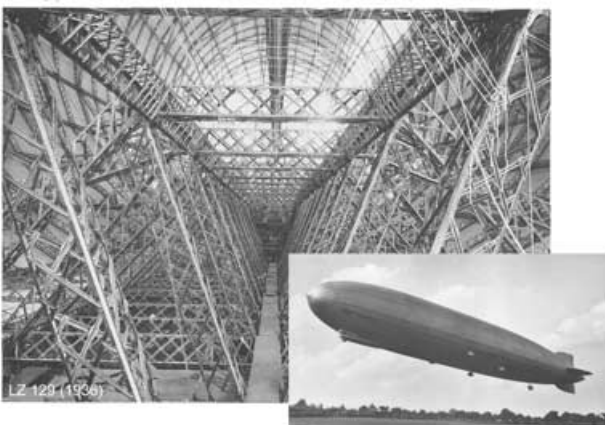
Luftschiffmembranen



Luftschiffmembranen

02

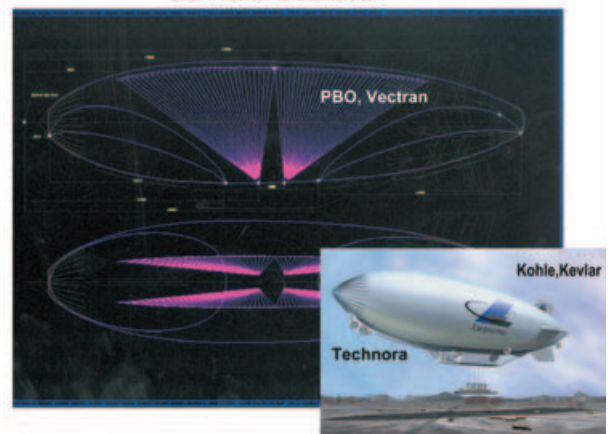
Laufgang (LZ 129 - „Hindenburg“)



03

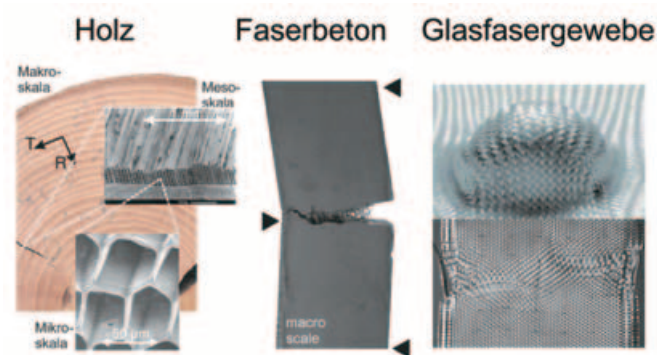
Aluminiumleichtbau im Zeppelin LZ 129, 1936

CL-Hülle-Überblick



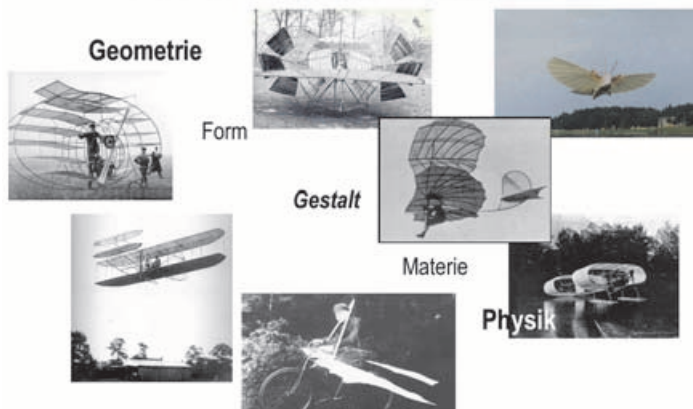
04

Trag- und Hüllenstruktur des CargoLifter CL 160, 2000

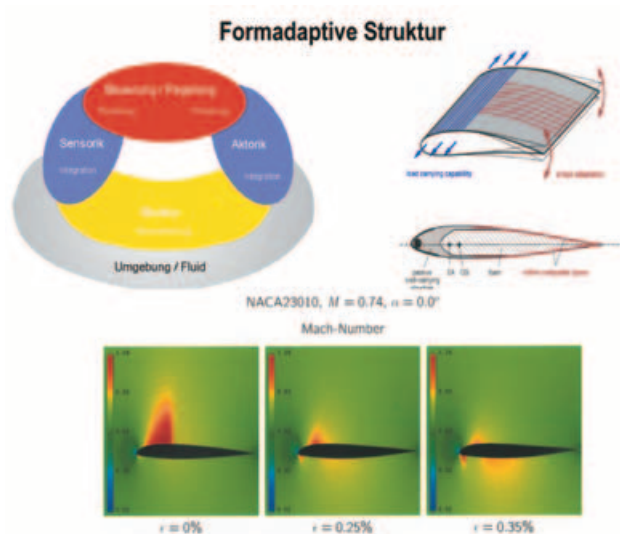


05 Holz, Faserbeton, Glasfasergewebe

Der mühsame Weg zur Gestalt



06 Formensuche bei frühen Fluggeräten



07 Formadaptiver Flügel

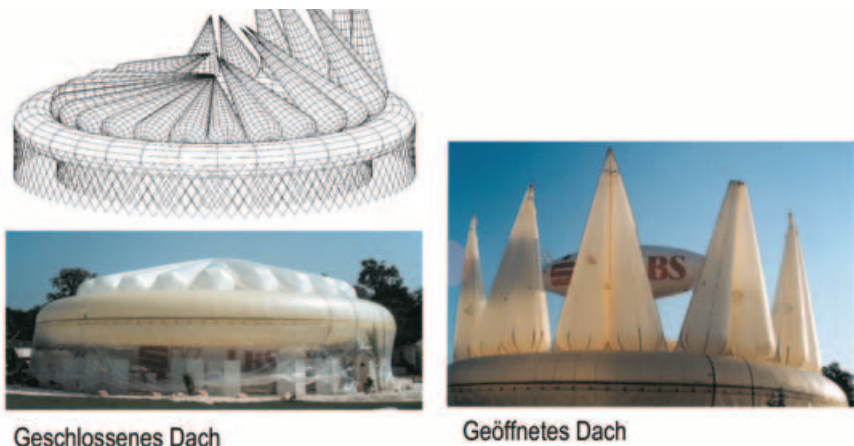
Strukturen, wie Holz, Faserverstärkungen, wie Kurzfaserbeton oder Gewebe (05).

Je genauer die Funktion vorbestimmt ist, desto gezielter kann die Formfindung geschehen. Ein Gebäude, das während des Lebens häufige Umnutzung erfährt, wird viel weniger in einer expliziten Form zu

gestalten sein als ein Flugzeug, das immer dem Transport von einhundert Passagieren über Kurzstrecken dient. Interessant ist, dass in der Frühzeit einer Entwicklung sowohl in der Natur wie in der Technik immer eine große Formenvielfalt beobachtet werden kann. (06) zeigt dies für die Flugzeuge. Erst wenn die Physik hinreichend verstanden ist, setzen sich funktionale Formen durch. In der Luftfahrt allgemein sind dies die Flugzeuge, die Hubschrauber und die Luftschiffe, wobei letztere noch auf die ihnen vorhergesagte Renaissance warten.

2. Form und Funktion

Nun kann die Anordnung des Stoffs aber auch durch aktiv geregelte Prozesse erfolgen. Der Vogelflügel wird während des Fluges nach aerodynamischen und flugmechanischen Bedürfnissen verformt, um die Auftriebsverteilung oder die Randwirbelablösung zu beeinflussen. Überträgt man dieses Prinzip auf die Technik, so spricht man von „Adaptiven Strukturen“. Beispiele sind der Adaptive Flügel, der durch aktivierbare piezoelektrische Fasern seine Kontur ändert und damit die Umströmung beeinflusst (07). Beispiele sind aber auch pneumatische Konstruktionen, die sich durch veränderten Innendruck den Temperatur- und Witterungsverhältnissen anpassen. Hierbei übernimmt der Innendruck die Aufgabe der Übertragung der Druckkräfte und umgeht das sonst für Leichtbauten so gefährliche



08 Geschlossenes Dach Geöffnetes Dach
Helion, das erste Gebäude, das an der Erde „hängt“

Stabilitätsversagen durch Knicken oder Beulen. Ein Beispiel dafür ist das „Helion“, das 1992 in Stuttgart gebaut wurde. Es war das erste Gebäude, das ganz durch den Auftrieb von Helium getragen wurde und in Form einer großen Blume auf der Internationalen Gartenbauausstellung als Luftschiffhangar für das erste Solarluftschiff „Lotte“ diente (08).

Konstruktionen dieser Art haben einen sehr geringen planmäßigen Innendruck zur Formerhaltung. Wenn der Druck durch Temperatur- oder äußere Druckschwankungen zunimmt, sind sie in Gefahr, zu platzen; wenn er abnimmt, verlieren sie die Stabilität. Aus diesem Grunde ist hier eine adaptive Drucksteuerung unerlässlich. Wie wir wissen, besteht das Problem bei Hochdruckkonstruktionen viel weniger. Ein Autoreifen benötigt beim Betrieb keine Adaption; er hat aber auch ca. den zweihundertfachen Innendruck eines Luftschiffs.

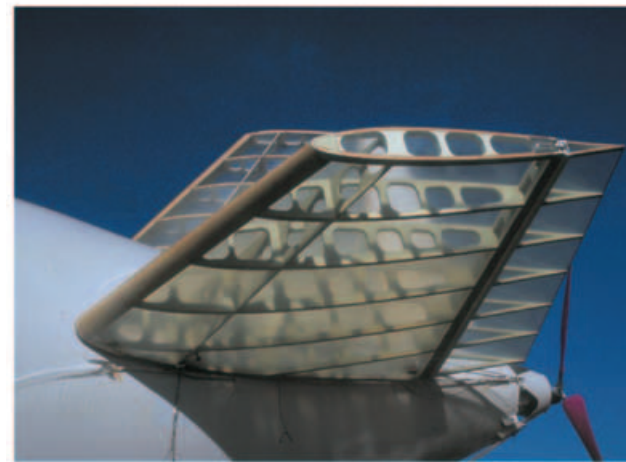
3. Konstruktionsbeispiele

Zur Erzielung einer extrem leichten Konstruktion werden je nach Anforderung viele Materialien kombiniert. So wurden für das Leitwerk des oben genannten Solarluftschiffs (09), die Materialien PE, Kevlar, Kohle und Balsaholz verwendet. Das führt für das 1,80 m hohe Leitwerk zu einer Masse von weniger als zwei Kilogramm.

(10) zeigt einen Entwurf für eine Basketballsporthalle. Das Dach besteht aus einem mit Luft gefüllten Membrankissen aus transluzentem Material. In der Mitte befindet sich ein Druckball, in dem Druckluft zwischengespeichert wird, um bei kurzzeitigen Anforderungen, zum Beispiel Schneefall, den Druck in der Membran zu erhöhen.

Ein temporäres Dach für das Fußballstadion in München ist in (11) gezeigt. Das fliegende, mit Helium gefüllte Dach, das wie ein Drachen stabilisiert wird, steht in ca. 150 m Höhe neben dem Stadion und wird in ca. dreißig Minuten auf das Stadion abgesenkt, wenn dieses verschlossen werden soll. Auch hier

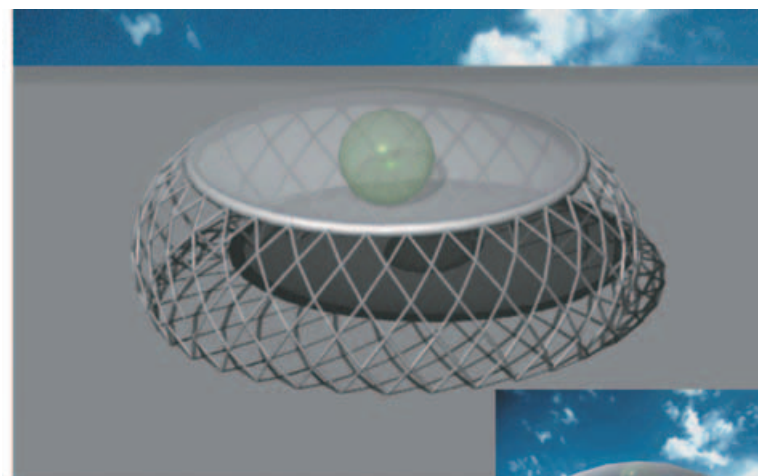
Leitwerk von „Lotte“



Materialien: PE, Glas, Kohle, Kevlar, Schaum, Holz

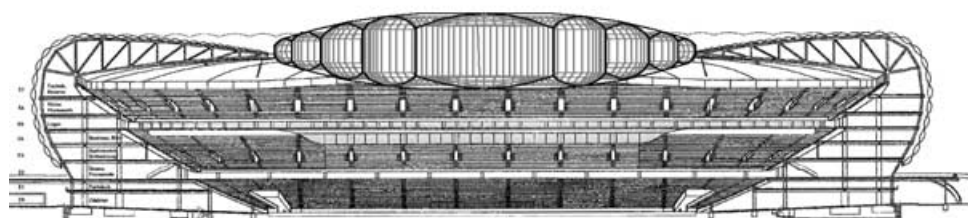
09

Leitwerk von „Lotte“



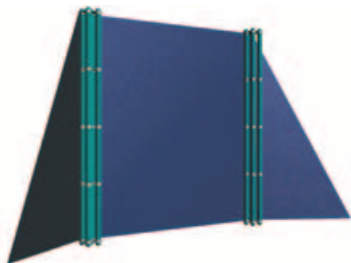
10

Basketballhalle mit Druckspeicher



11

Fliegendes Dach



12

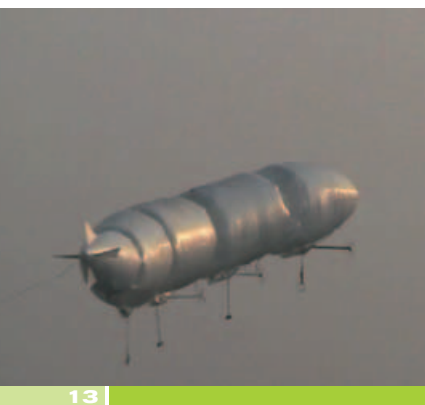
UV-erhärtendes Sonnensegel

sind die die aktive Drucksteuerung und die aerodynamische Stabilität grundlegende Eigenschaften.

(12) zeigt ein Sonnensegel für Weltraumanwendungen. Die Membranen und Schläuche werden am Boden in einem kleinen Behälter verpackt.

Nach Öffnen des Behälters im Weltraum werden die Schläuche vom in ihnen befindlichen Restluftdruck aufgeblasen. In den doppelwandigen Schläuchen befindet sich mit Harz getränktes Glasfasergewebe. Sobald dies dem UV-Licht ausgesetzt wird, erhärtet das Harz und es entsteht eine große steife Struktur, der auch die Mikrometeoriten nichts anhaben können, da ihre Steifigkeit nicht mehr auf Luftdruck beruht.

Höhenplattformen sind eine technische Herausforderung unserer Zeit. Diese sollen in 20.000 m Höhe in der unteren



13

Stuttgarter SkyChain

ZUSAMMENFASSUNG

Extremer Leichtbau ist durch Materialentwicklung allein nicht möglich. Vielmehr müssen Geometrie und Physik mit dem Material und der, vielleicht adaptiven, Konstruktion eine gegläuckte Symbiose bilden, um den Zweck zu erfüllen. Gelingt dies, so entsteht in den allermeisten Fällen ein technisches Artefakt von ästhetischem Genuss.

Stratosphäre stationiert werden, um von dort als Relaisstationen die Telekommunikation für Katastrophengebiete, bei Erdbeben oder Tsunamis zu übernehmen. Dies stellt extreme Anforderungen an den Leichtbau, da die Geräte wegen des geringen Luftdrucks etwa 25 mal so leicht sein müssen, wie die leichtesten Fluggeräte für bodennahe Anwendungen. (13) zeigt ein für diese Zwecke in Stuttgart entworfenes Fluggerät, das kurz vor seiner Höherprobung steht. Es ist ein fliegender Gliederkörper, eine Mischung aus Höhenballon und Luftschiff. Besondere Verhältnisse erfordern besondere Wege.

Abschließend noch eine Vision für das stets höchste Hotel der Welt oder einen Arbeitsraum in einer feindlichen Umgebung, in der Wüste oder auf dem Meer (14). Eine fliegende Linse von 0,5-3 km Durchmesser wird durch Kohlerringe, die gleichzeitig die Unterkünfte sind, stabilisiert und fliegt zum Einsatzort, um dort das schützende Dach für die Arbeiten zu bilden.



14

Flying Hotel oder „Workspace in hostile environment“

PROF. DR. BERND KRÖPLIN

wurde 1944 in Schleswig geboren, studierte nach einer Handwerkslehre Bauingenieurwesen in Braunschweig, promovierte 1977 mit dem Thema „Elastoplastische Stabilität stählerner Brücken“, erhielt 1979 ein Heisenberg-Stipendium der deutschen Forschungsgemeinschaft, wurde 1982 in Dortmund Professor für „Anwendung numerischer Methoden“, leitet seit 1988 das Institut für Statik und Dynamik der Luft- und Raumfahrtkonstruktionen in Stuttgart, gewann 2000 den Körber-Preis für „Höhenplattformen für Telekommunikation“ und ist seit 2000 Mitglied der Academia Europea.



Kontakt: Universität Stuttgart, Institut für Statik und Dynamik der Luft- und Raumfahrtkonstruktionen
Pfaffenwaldring 27, 70569 Stuttgart, Tel. 0711/ 685-63612
Fax 0711/ 685-63706, E-Mail: office@isd.uni-stuttgart.de