



BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG  
BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG

Reinhard Grünwald  
Dagmar Oertel

# LEICHTER-ALS-LUFT-TECHNOLOGIE INNOVATIONS- UND ANWENDUNGSPOTENZIALE

ZUSAMMENFASSUNG

November 2004

Arbeitsbericht Nr. 97







---

## ZUSAMMENFASSUNG

In den Lüften schweben, mühelos: Dieser alte Menschheitstraum schien mit den »Riesenzigarren« des Grafen Zeppelin Anfang des letzten Jahrhunderts in Erfüllung zu gehen. Einen herben Rückschlag erlitt dieser Traum mit dem spektakulären Brand des Zeppelins »Hindenburg« im Jahr 1937. Dennoch sind Luftschiffe für viele ein faszinierendes Thema geblieben, und auch heute verbinden sich mit »Leichter-als-Luft (LaL)–Technologie« optimistische Erwartungen hinsichtlich ihres Einsatzes in zahlreichen Märkten und für vielfältige zivile und militärische Aufgaben.

---

## FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSBEDARF

Vergegenwärtigt man sich, dass das verfügbare LaL-Wissen in erheblichem Umfang auf etwa 40 bis 60 Jahre alten Archiven (Zeppelin Archiv, NASA Reports) basiert, wird klar, dass heutige Luftschiffprojekte auf einer vergleichsweise dünnen Daten- und Wissensbasis aufbauen. Deshalb ist die LaL-Technologie von einem Optimierungsstadium – wie es in der allgemeinen Luftfahrt erreicht ist – noch relativ weit entfernt. FuE-Bedarf besteht in einer Vielzahl von Feldern:

### HÜLLENMATERIALIEN

Ein Optimierungsproblem liegt darin, dass hohe Festigkeit und geringe Gasdurchlässigkeit mit einem möglichst geringen Gewicht erreicht werden sollen. FuE-Bedarf besteht deshalb in der optimierten Auslegung einzelner Materialsichten in Bezug auf die gewünschten Eigenschaftskombinationen (z.B. hohe Zug- und Weiterreißfestigkeit, hohe Gasdichtheit, gute Verarbeitbarkeit, Knickunempfindlichkeit).

### STRUKTUR UND KONSTRUKTION

Durch Interaktion von Struktur und Hülle respektive Ballonets entstehen komplexe strukturelle Probleme, zu deren Lösung insbesondere für sehr große Luftschiffe noch intensive Forschung und Entwicklung erforderlich ist.

### ANTRIEBSTECHNOLOGIEN UND STEUERUNG

Bei den konventionellen Antrieben besteht Forschungsbedarf im Wesentlichen bei Getrieben und Fernwellen und in der Triebwerksregelung (z.B. für Manövertriebwerke). Für elektrische Antriebe müssten Batteriekonzepte als Energiespeicher und



-puffer oder Brennstoffzellensysteme weiterentwickelt werden. Ebenso besteht Forschungsbedarf bei hocheffizienten flexiblen Solarzellen für eine Anwendung, z.B. in Stratosphären-Plattformen.

Um eine verbesserte aerodynamische Stabilität und Steuerbarkeit von Luftschiffen zu erreichen, ist eine Weiterentwicklung von Fly-by-wire-Flugsteuerungen erforderlich.

### TRAGGASMANAGEMENT

Die Entwicklung von effektiven und kostengünstigen Hülleninspektionsverfahren ist insbesondere für größere Luftschiffe notwendig. Zur Überwachung der Heliumreinheit sind Bordsysteme im Luftschiff und/oder externe Messsysteme nötig. Solche Systeme müssen deshalb noch in Entwicklungsvorhaben konzipiert und optimiert werden. Bei einem Einsatz von Wasserstoff als Traggas ist neben der technischen Eignung eine mögliche Gefährdung zu prüfen.

---

### EINSATZFELDER, MARKTPOTENZIALE

Werbung und Tourismus (Rundflüge) sind die etablierten kommerziellen Einsatzfelder der derzeit existierenden kleinen und mittelgroßen (Zeppelin NT) Luftschiffe. Diese Felder könnten – von den erprobten Technologien ausgehend – schrittweise intensiver besetzt werden. Größere Technologiesprünge sind hierfür nicht erforderlich. Der Einsatz dieser Luftschiffe als Missionsplattformen (z.B. für TV-Übertragungen, Umweltmonitoring oder Minensuche) bietet sich vor allem als Mitnahmemarkt an.

Zukunftspotenziale könnten sich für die LaL-Technologie insbesondere bei Stratosphären-Plattformen für Telekommunikation und Überwachungsaufgaben sowie im Cargo-Markt eröffnen. Diese Märkte können aber nur mit großen Luftschiffen von 250 m Länge und mehr bedient werden. Die für diese Luftschiffe notwendigen Technologien befinden sich aber teilweise noch im Stadium der Grundlagenforschung. In Anbetracht der langen Entwicklungszeiten und der hohen Kosten, ist es fraglich, ob in absehbarer Zeit potenzielle Investoren dieses hohe Risikopotenzial auf sich nehmen werden.

### WERBUNG

Der Werbemarkt insgesamt ist heiß umkämpft, und Luftschiffwerbung als nicht zielgruppenorientierte Werbung steht in Konkurrenz beispielsweise zu Banden- oder Großbildwerbung. Der relativ hohe Mietpreis begrenzt den Markt auf Großunternehmen mit hohem Marketingbudget. Möglichkeiten der Weiterentwicklung dieses



Marktsegmentes liegen insbesondere in inkrementellen Verbesserungen bestehender Konzepte, z.B. Luftschiffe mit Leuchtausstattung oder mit besonderen Bauformen (z.B. eine »fliegende Bierflasche«).

## TOURISMUS

Die wichtigsten Segmente des Luftschiff-Tourismus-Marktes sind Rundflüge zum Sightseeing und mehrtägige Kreuzfahrten. Der Markt für Rundflüge/Sightseeing ist allerdings ein hart umkämpfter touristischer Nischenmarkt. Luftschiffe stehen hier in Konkurrenz zu den etablierten Systemen Flugzeug, Hubschrauber und Ballons. Den Vorteilen von Luftschiffen, z.B. gute Sicht und Komfort, stehen zumeist Kostennachteile im Vergleich mit den Konkurrenzsystemen gegenüber. Möglichkeiten zum Ausbau dieses Marktsegmentes liegen insbesondere in der Entwicklung von Luftschiffen mit einer größeren Passagierkapazität als die der existierenden Schiffe mit 13 Plätzen. Hierdurch könnten die Betriebskosten pro Passagier gesenkt und damit die Wirtschaftlichkeit verbessert werden.

Im Marktsegment der Kreuzfahrten müssten Luftschiffe vor allem mit den etablierten Kreuzfahrtschiffen konkurrieren. Der dortige hohe Komfort ist mit Luftschiffen schwer erreichbar. Darüber hinaus ist es fraglich, ob – selbst im Luxusreisesegment – kostendeckende Preise erzielt werden können.

## MISSIONSPLATTFORMEN

Luftschiffe können mit unterschiedlichsten Sensoren und Auswertesystemen sowie Sende- und Empfangsanlagen ausgestattet werden, um eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten für zivile (z.B. TV-Übertragungen), hoheitliche (z.B. Verkehrsüberwachung) sowie militärische (z.B. Minensuche) Anwendungen abzudecken. Dabei handelt es sich um kleinere Fluggeräte, die – anders als Stratosphären-Plattformen (s.u.) – in geringer Höhe operieren.

Je nach Anforderungsprofil konkurrieren Luftschiffe mit Hubschraubern, Flugzeugen und Satelliten. Luftschiffe besitzen gegenüber Hubschraubern und Flugzeugen Vorteile, wenn eine hohe Überwachungsintensität gefordert ist, gegenüber Satelliten erlauben Luftschiffe eine präzisere Beobachtung von kleineren Strukturen. Vorteile besitzen Luftschiffe für einige Anwendungen auch wegen ihrer Lärm- und Vibrationsarmut.

Gemeinsam ist den meisten dieser Einsatzfelder, insbesondere denen im nicht-militärischen Bereich, dass sie nur kurzfristige bzw. punktuelle Einsätze eröffnen. Diese Märkte könnten von Luftschiffbetreibern daher vorwiegend als Mitnahmemarkt bedient werden, wenn die geforderte Ausrüstung erprobt und verfügbar ist.



## PERSONENTRANSPORT

Im Sektor Personentransport werden hohe Anforderungen an Zuverlässigkeit und Pünktlichkeit gestellt, die mit herkömmlichen Luftschiffen nur schwer realisierbar sind.

Für die Personenbeförderung im Linienbetrieb kommen vor allem zwei Konzepte in Betracht. Erstens könnten Luftschiffe mit sehr leistungsstarken Motoren ausgerüstet werden, um auch gegen starke Winde die geplante Reisegeschwindigkeit zu erreichen. Dies könnte aber die Umweltvorteile (geringer Treibstoffverbrauch, geringe Lärmemission), die Luftschiffe vielfach gegenüber anderen Verkehrsträgern haben, zunichte machen. Die zweite Strategie wäre die Entwicklung von Hybridluftschiffen, die einen Teil ihres Auftriebs aerodynamisch (wie ein Flugzeug) erzeugen. Dies setzt aber grundsätzliche technologische Neuentwicklungen voraus. Konzeptstudien hierfür liegen bereits vor.

## GÜTERVERKEHR / LASTENTRANSPORT

Der Cargomarkt wird durch die konventionellen Verkehrsträger LKW, Schiff und Flugzeug (Hubschrauber) weitgehend abgedeckt. Mögliche Nischen für Luftschiffe liegen vor allem im Bereich der Schwer- und Spezialtransporte. Ein entscheidender Vorteil von Luftschiffen wäre die Realisierung eines Punkt-zu-Punkt-Transportes von Gütern. Dieser könnte den Geschwindigkeitsnachteil von Luftschiffen gegenüber Flugzeugen relativieren oder sogar aufheben.

Obwohl der Cargomarkt ein interessantes Feld mit Zukunftspotenzial zu sein scheint, ist es zum gegenwärtigen Zeitpunkt fraglich, ob der Markt im zivilen Bereich ausreichend groß ist, dass potenzielle Investoren den hohen finanziellen Einsatz und das hohe Risiko der Entwicklung von Schwerlastluftschiffen auf sich nehmen. Als Marktchance wird daher vielfach eine militärisch finanzierte Basisentwicklung gesehen.

## STRATOSPHEREN-PLATTFORMEN

Stratosphären-Plattformen sollen in großer Höhe (ca. 20 km) operieren. Sie eignen sich vor allem für zwei Einsatzfelder: als Relais-Stationen für die Telekommunikation sowie als Plattformen für Überwachungsaufgaben. Das erste Feld ist zivil, das zweite militärisch dominiert.

Ein in der Stratosphäre als Relaisstation stationiertes Luftschiff wäre technisch in der Lage, ein Zielgebiet mit einem Durchmesser von bis zu 400 km mit Breitbanddiensten zu versorgen. Im Gegensatz zu Kommunikationssatelliten wären Stratosphären-Plattformen zur Wartung, Reparatur oder Ausstattung mit neuer Hard- und Software rückholbar sowie vermutlich deutlich billiger.



Das zweite mögliche Einsatzfeld sind Aufklärungs- und Überwachungsmissionen. Hier konkurrieren Stratosphären-Plattformen vor allem mit Satelliten bzw. mit bemannten und unbemannten Aufklärungsflugzeugen (Drohnen). Gegenüber Satelliten haben sie den technologischen Vorteil einer ca. 50-mal höheren Auflösung und Sensitivität. Anders als Aufklärungsflugzeuge bieten sie die Möglichkeit einer lang andauernden kontinuierlichen Überwachung größerer Gebiete.

Als Markthemmnisse werden primär die hohen Entwicklungskosten und das hohe Risikopotenzial genannt. Wichtige benötigte Technologien sind noch relativ weit von der Einsatzreife entfernt. Die Tatsache, dass die USA in diesem Feld eine Reihe von offenbar aufeinander abgestimmten militärischen Entwicklungsprogrammen betreibt, lässt vermuten, dass das Thema eine hohe Priorität erhalten hat. Viele Experten erwarten, dass eine militärisch getriebene Basisentwicklung einen Technologie-Push auslösen könnte, der auch der zivilen Anwendung der LaL-Technologie neue Perspektiven eröffnet.

#### LAL IN SICH ENTWICKELNDEN LÄNDERN

Oftmals werden Luftschiffe pauschal als besonders attraktiv für den Einsatz in sich entwickelnden Ländern angesehen. Als Grund wird die fehlende oder mangelhafte Infrastruktur zum Personen- bzw. Gütertransport angegeben. Allerdings ist hier eine differenzierte Betrachtung je nach konkretem Einsatzgebiet erforderlich.

Ein Feld mit einem Zukunftspotenzial könnten Spezialeinsätze im hoheitlichen und zivilen Bereich sein, wie z.B. die Sicherung der Landesgrenzen, die Überwachung von Goldminen, Erdölfeldern, Pipelines, Wäldern und landwirtschaftlichen Anbaugebieten, der Krankentransport, die Detektion von Landminen.

Im Sinne des Einsatzes von angepasster Technologie kommen vor allem Heißluftschiffe für diesen Bereich in Betracht. Ein Wettbewerbsvorteil im Vergleich zu etablierten Konkurrenzsystemen – vor allem Hubschrauber – ist, dass sie vergleichsweise einfach aufgebaut sind und das zu ihrem Betrieb erforderliche technische Know-how überschaubar ist.

---

#### UMWELT UND SICHERHEIT

Die heute operierenden Luftschiffe sind vergleichsweise emissionsarme und damit umweltfreundliche Verkehrsträger. Im Gegensatz zu anderen Luftfahrzeugen können sie in der Luft schweben, ohne Energie zu verbrauchen und bewegen sich mit relativ geringer Geschwindigkeit (meist weniger als 80–100 km/h) fort. Ob diese Einschätzung auch für neu zu entwickelnde Großluftschiffe zutrifft, kann erst nach differenzierter Analyse des konkreten Anwendungsfalls gesagt werden: So ist



zunächst zu berücksichtigen, dass ein größerer Querschnitt mehr Luftwiderstand und damit einen höheren Energiebedarf erzeugt. Ebenso steigt der Energiebedarf, wenn die zu erreichende Reisegeschwindigkeit höher gewählt wird und wenn diese zudem unter schwierigen Witterungsbedingungen (z.B. starker Gegenwind) erreicht werden soll. Nicht zuletzt hängt der Energieverbrauch im praktischen Einsatz eines Luftschiffs auch von den Betriebsszenarien ab, z.B. wenn der Flug häufig im energetisch und emissionsseitig ungünstigen Teillastbereich der Motoren bzw. Turbinen stattfindet.

Der Betrieb von Luftschiffen könnte nahezu emissionsfrei gestaltet werden, wenn es gelänge, regenerative Energien (Solarzellen, regenerativ erzeugter Wasserstoff, Brennstoffzellen) in das Antriebssystem zu integrieren. Ein Dauereinsatz von Luftschiffen in der Stratosphäre wäre ohne regenerative Technologien nur schwer vorstellbar.

Da nahezu alle nichtmilitärischen Einsatzgebiete von Luftschiffen Nischenmärkte sind, ist mit einer nennenswerten Substitution von konventionellen Verkehrsträgern und einer merklichen Reduktion der verkehrsbedingten Gesamtemissionen gegenwärtig nicht zu rechnen.

Luftschiffe sind nicht »per se« sicherer als Flugzeuge. Eine Beschädigung der Hülle führt dazu, dass Traggas – und damit Auftrieb – verloren geht. Dieser Verlust ginge auch bei größeren Schäden relativ langsam vonstatten, so dass die Gefahr eines abrupten Absturzes kaum besteht. Die Wucht des Aufpralls wäre daher meist geringer als bei einem Flugzeugabsturz. Da dieser Zusammenhang bei der Auslegung der Kabine und anderer Sicherheitseinrichtungen bereits berücksichtigt wird, kann insgesamt gesehen von einem etwa gleich hohen Sicherheitsniveau wie bei Flugzeugen ausgegangen werden.

Luftschiffe können im Prinzip allwettertauglich ausgerüstet werden. Dennoch bleibt der Luftschiffbetrieb wetterabhängig. Eine meteorologische Missionsplanung mit Berechnung der bei Abflug und Ankunft vorliegenden Auftriebspotenziale sowie die Vorbereitung entsprechender Maßnahmen sind daher unumgänglich.

---

## HANDLUNGSOPTIONEN

Zur staatlichen Unterstützung der Ausschöpfung der dargestellten Potenziale der LaL-Technologie kommt eine Reihe von Handlungsoptionen in Betracht, die im Folgenden skizziert werden. Diese könnten jeweils einzeln oder aber in Kombination miteinander gewählt werden, so dass eine abgestimmte und gestufte Strategie zur Förderung der LaL-Technologie entwickelt und umgesetzt werden könnte.





## **SYNERGIEN FÖRDERN**

Die LaL-Technologie zeichnet sich weniger durch grundlegende Neuentwicklungen aus, als durch Adaption und Integration von technologischen Fortschritten, die auf anderen Gebieten erzielt werden. Die Förderung von Synergien mit diesen Gebieten bietet sich daher an.

## **AUFBAU EINER »LEICHTER-ALS-LUFT«-FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSSTELLE**

Mit der LaL-Technologie sind hohe Entwicklungsrisiken auf einem breiten technologischen Feld verbunden. Damit diese Aufgabe von den Akteuren, die die LaL-Forschung und -Entwicklung betreiben, gemeistert werden kann, wäre eine logistische und koordinierende Unterstützung in Form einer »LaL-Forschungs- und Entwicklungsstelle« ins Auge zu fassen. Zentrale Aufgaben dieser Stelle wären: die Kooperation der Akteure der LaL-Forschungslandschaft zu fördern, das vorhandene Know-how zusammenzutragen und mit dem Ziel der Vermarktung aufzubereiten sowie eine Systematik der Produktentwicklung für zukünftige LaL-Projekte zu erstellen. Auf diese Weise könnte eine LaL-Forschungs- und Entwicklungsstelle als Multiplikator zur Sicherung der Technologieführerschaft Deutschlands wirken.

## **WISSENSBASIS VERBREITERN UND ERFAHRUNGSAUSTAUSCH INTENSIVIEREN**

Eine weitere Möglichkeit, das relativ weit verstreute Wissen zu bündeln, bestünde darin, den wissenschaftlichen Austausch in Deutschland aber auch weltweit zu fördern. Die Fachgruppe Leichter als Luft der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrttechnik (DGLR) veranstaltet regelmäßig Konferenzen zu LaL und verwandten Themen. Es wäre zu erwägen, Aktivitäten wie diese – auch im europäischen Rahmen – zu verstärken.

Im CargoLifter-Projekt ist Forschung und Entwicklung intensiv betrieben und das Know-how zur LaL-Technologie in vielen Punkten entscheidend erweitert worden. Dieses Wissen sollte – soweit möglich – gesichert und aufbereitet werden; die Ergebnisse sollten der Öffentlichkeit zugänglich sein.

## **VERLÄSSLICHE REGELN UND STANDARDS SCHAFFEN**

Zur Entwicklung, zum Bau und zum Betrieb von Luftfahrtgeräten sind allgemein gültige und international harmonisierte Regeln und Standards erforderlich. Für Luftschiffe existieren solche Vorschriften nur rudimentär, von einer internationalen Harmonisierung kann keine Rede sein.

Eine proaktive Rolle von Luftfahrt-Bundesamt und EASA (European Aviation Safety Agency) bei der Ausarbeitung und internationalen Harmonisierung dieser Re-



gularien wäre wünschenswert. Eine intensive entwicklungsbegleitende Kooperation mit Hersteller- und Betreiberunternehmen ist empfehlenswert. Für zukünftige LaL-Projekte in Deutschland könnte es sich als großer Wettbewerbsvorteil erweisen, wenn die Basis internationaler Vorschriften maßgeblich in Deutschland erarbeitet werden würde.

### **FLEXIBLES FÖRDERPROGRAMM AUFLEGEN**

Unter der Bedingung, dass die Ausschöpfung der dargestellten Potenziale der LaL-Technologie als wirtschaftlich und gesellschaftlich wichtig eingeschätzt wird und die Technologieführerschaft Deutschlands auf diesem Gebiet erhalten werden soll, wäre zu prüfen, ob die öffentliche Hand ein Förderprogramm auflegen sollte, um die technologische Machbarkeit insbesondere von Stratosphärenplattformen und Luftschiffen zum Schwerlasttransport zu demonstrieren sowie den Bau von Prototypen voranzutreiben. Orientierung für die Ausgestaltung könnten beispielsweise die zurzeit laufenden Stratosphären-Plattform-Programme in Japan bzw. in den USA bieten.

Um realistische Aussichten auf Erfolg zu haben, müsste eine solche Förderstrategie langfristig ausgerichtet sein, mit einer Zeitperspektive von 10–15 Jahren. Das Gesamtvolumen eines solchen Programms dürfte über die gesamte Laufzeit in der Größenordnung 300–400 Mio. Euro liegen. Vertretbar wäre dies allerdings nur, wenn gleichzeitig in erheblichem Umfang industrielle Eigenmittel mobilisiert werden könnten.



Das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) berät das Parlament und seine Ausschüsse in Fragen des technischen und gesellschaftlichen Wandels. Das TAB ist eine organisatorische Einheit des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des Forschungszentrums Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft und arbeitet seit 1990 auf der Grundlage eines Vertrages zwischen dem Forschungszentrum Karlsruhe und dem Deutschen Bundestag.



**BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG  
BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG (TAB)**

Neue Schönhauser Str. 10  
10178 Berlin  
Fon +49(0)30/28 491-0  
Fax +49(0)30/28 491-119  
buero@tab.fzk.de  
[www.tab.fzk.de](http://www.tab.fzk.de)