



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften

2018 | Diskussion Nr. 17

Zukunftsfähigkeit der Luftfahrtforschung in Deutschland

Chancen und Risiken der aktuellen Entwicklung

**Stefan Levedag | Uwe Klingauf | Mirko Hornung
Jürgen Klenner | Ernst Messerschmid | Rolf Radespiel**

Impressum

Herausgeber

Prof. Dr. Jörg Hacker
Präsident der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina
– Nationale Akademie der Wissenschaften –
Jägerberg 1
06108 Halle (Saale)

Redaktion

Prof. Dr. Stefan Levedag, Technische Universität Braunschweig
Prof. Dr. Uwe Klingauf, TU Darmstadt
Dr. Christian Anton, Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina

Redaktionsschluss

April 2018

Abbildungen

Sisters of Design – Anja Krämer & Claudia Dölling GbR

Gestaltung und Satz

unicom Werbeagentur GmbH, Berlin

Druck

druckhaus köthen GmbH & Co. KG
Friedrichstr. 11/12
06366 Köthen (Anhalt)
druckhaus@koethen.de

ISBN 978-3-8047-3737-2

Bibliografische Information der deutschen Nationalbibliothek

Die deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie, detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2018 Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e.V. –
Nationale Akademie der Wissenschaften, Halle (Saale)

Zitiervorschlag

Levedag S, Klingauf U, Hornung M, Klenner J, Messerschmid E & Radespiel R (2018): Zukunftsfähigkeit der Luftfahrtforschung in Deutschland. Diskussion Nr. 17. Nationale Akademie der Wissenschaften – Leopoldina, Halle (Saale).

Zukunftsfähigkeit der Luftfahrtforschung in Deutschland

Chancen und Risiken der aktuellen Entwicklung

**Stefan Levedag | Uwe Klingauf | Mirko Hornung
Jürgen Klenner | Ernst Messerschmid | Rolf Radespiel**

Publikationen in der Reihe „Leopoldina Diskussion“ sind Beiträge der genannten Autorinnen und Autoren. Mit den Diskussionspapieren bietet die Akademie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern die Möglichkeit, flexibel und ohne einen formellen Arbeitsgruppen-Prozess Denkanstöße zu geben oder Diskurse anzuregen und hierfür auch Empfehlungen zu formulieren.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Wissenschaftliche Bedeutung des Flugzeugbaus	6
2.1	Ingenieurwissenschaftliche Forschungsentwicklung	6
2.2	Wissenschaftsbereiche des Flugzeugbaus	7
2.3	Universitäre Forschung und Lehre	12
2.4	Großforschungseinrichtungen der Luftfahrt	14
2.5	Großanlagen der Luftfahrtforschung	15
3	Besondere Bedingungen in der Luftfahrtbranche	17
3.1	Systemfähigkeit	17
3.2	Produktzyklen in der Luftfahrt	19
3.3	Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Industrie	20
3.4	Die deutsche Luftfahrtindustrie	21
4	Situationsanalyse	25
4.1	Die Luftfahrt vor epochalen technischen Veränderungen	25
4.2	Entwicklung der System- und Forschungsfähigkeit in Deutschland	30
4.3	Nutzung der Zukunftschancen	33
4.4	Steuerung nationaler Fähigkeiten in der Hochtechnologie	34

5	Mögliche Maßnahmen und Handlungsoptionen.....	37
5.1	Ziele und Maßnahmen	37
5.2	Vorgeschlagene Maßnahmen.....	38
5.3	Zusammenfassende Bewertung	41
6	Mitglieder der Arbeitsgruppe	43
	Glossar	44
	Abkürzungen	46
	Anhang.....	47

Einleitung

Die Schlüsselindustrien der Luftfahrt haben in den vergangenen Jahrzehnten in Europa eine beispiellose Konsolidierung erlebt. Die Folgen dieser Entwicklung sind jedoch nicht nur in der Industrie zu spüren, auch in der Forschungslandschaft machen sie sich mittlerweile bemerkbar. Da die ingenieurwissenschaftliche Forschung in Deutschland traditionell eng an die entsprechenden Schlüsselindustrien gebunden ist, steht die Forschung im Flugzeugbau in Deutschland daher an einem Scheideweg.

Darüber hinaus ändern sich mit der neuen Gesetzgebung zu automatisierten autonomen fliegenden Systemen und dem UN-Klimaabkommen von Paris (2015) die Randbedingungen für die Luftfahrtforschung. Bei konsequenter Umsetzung eines umfassenden CO₂-neutralen weltweiten Transportsystems wird es zu technologischen Sprüngen in der Luftfahrt kommen müssen, die weit über die absehbaren Schritte beim bodengebundenen Verkehr hinausgehen. Die gleichzeitige Schaffung der Grundlagen für die Zulassung unbemannter Flugzeuge wird ebenfalls einen starken Impuls für die jeweiligen Forschungsgebiete auslösen. Beide Entwicklungen bieten herausragende Chancen für die deutsche Wissenschaftsgemeinschaft der Luftfahrtforschung, sich durch gezielte Maßnahmen und Aktivitäten in neuen Schlüsselbereichen eine internationale Führungsposition zu erarbeiten.

So vielversprechend damit die aktuellen Aussichten für die Luftfahrtforschung sind, so schwierig ist es derzeit, das Fundament für diese Stärke aufrechtzuerhalten. In den Ingenieurwissenschaften ist eine enge wechselseitige Kooperation zwischen Industrie und Wissenschaft immer der Kern von beiderseitigem Nutzen und Wachstum gewesen. In engster Zusammenarbeit mit der Wirtschaft wurde an Universitäten und Forschungseinrichtungen neues Wissen erarbeitet und die Ingenieure der Zukunft wurden ausgebildet. Die Industrie stellte im Austausch dazu die wichtigen Drittmittel für neue Forschungsvorhaben zur Verfügung. Lehrstühle an Universitäten wurden häufig mit Forschern besetzt,

die zuvor in der Wirtschaft tätig waren. Dieses etablierte Wechselspiel wird seit etwa einer Dekade durch die schnell voranschreitende Internationalisierung der Schlüsselindustrie nachhaltig verändert.

Durch die Integration des nationalen zivilen Flugzeugbaus in einen europäischen Konzern und durch die Insolvenz des Flugzeugherstellers Dornier wurden wichtige Kernfähigkeiten in Deutschland abgebaut. Wichtige Disziplinen wie die Flugmechanik, die hier beispielhaft genannt werden soll, werden in Deutschland industriell fast nicht mehr angewendet, sodass kaum noch geeignete Bewerber für freiwerdende Lehrstühle zu finden sind. Eine wirksame Übertragung dieses engen Wechselspiels zwischen Wissenschaft und Industrie von der nationalen auf die europäische Ebene hat bisher aus verschiedenen Gründen nicht stattgefunden. So kommt es zu der ungewöhnlichen Situation, dass eine ganze Forschungsbranche in sehr kurzer Zeit vor ungewöhnlich großen Aufgaben gestellt wird, gleichzeitig aber wesentliche Voraussetzungen für die Bewältigung dieser Aufgaben noch fehlen.

Hier setzt das vorliegende Papier an und zeigt sowohl die Veränderungen in der Forschungslandschaft als auch die Herausforderungen und Chancen auf, die sich daraus ergeben. Die Autoren sehen einen dringenden Handlungsbedarf gegeben, wenn Deutschland den Anschluss in der Luftfahrtforschung nicht verlieren will. Das Ziel des Diskussionspapiers ist es daher, die kritischen Punkte herauszuarbeiten und gezielte Maßnahmen vorzuschlagen.

2 Wissenschaftliche Bedeutung des Flugzeugbaus

2.1 Ingenieurwissenschaftliche Forschungsentwicklung

Für das Verständnis der folgenden Diskussionen ist es wichtig, sich das intensive Wechselspiel zwischen Forschungsinstitutionen der Ingenieurwissenschaften und der Industrie seit Anbeginn der technischen Forschung als ein besonderes Merkmal vor Augen zu führen.

Anders als beispielsweise in den Naturwissenschaften oder den Geisteswissenschaften, werden Professorinnen und Professoren in den Ingenieurdisziplinen mehrheitlich aus der Industrie berufen, um so von dort die wesentlichen Aspekte der praktischen Umsetzung von Technologie mit in die Lehre und auch die Forschung einfließen lassen zu können.

Innerhalb der Ingenieurwissenschaften wiederum spielt der Flugzeugbau eine Schlüsselrolle insofern, als hier die beteiligten Disziplinen von Flugmechanik, Aerodynamik, Leichtbau und Strukturdynamik, Systemtechnik sowie Antriebstechnik durch extreme Anforderungen so eng miteinander in Verzahnung gebracht wurden, dass eine Vielzahl bahnbrechender neuer Technologien hier ihren Anfang genommen hat und viele andere Branchen damit beflügelte.

Diesen starken Innovationsmotor haben alle großen Industrienationen intensiv in den Fokus ihrer Technologieförderungen genommen, nicht zuletzt auch wegen der großen Bedeutung für nationale strategische Fähigkeiten. Dadurch ist in allen Ländern mit maßgeblichen Hochtechnologiefähigkeiten ein leistungsfähiges „Dreibein“ aus Forschung, Industrie und staatlicher Lenkung und Förderung mit erheblicher gesamtwirtschaftlicher Wirkung entstanden. Deutschland nimmt dabei bisher in Europa die Spitzenposition bezüglich des Umfangs und der Leistungsfähigkeit seiner Luftfahrtwissenschaft ein.

2.2 Wissenschaftsbereiche des Flugzeugbaus

Der Flugzeugbau ist ein hochgradig interdisziplinärer Teil des Maschinenbaus, der sich bereits ganz zu Beginn der wissenschaftlichen Entwicklung stark vernetzt und sich aus den klassischen Bereichen fortentwickelt und eine Reihe völlig neuer Disziplinen hervorgebracht hat. Kein anderer Industriebereich hat je eine solche Fülle neuer Wissenschaftsgebiete geschaffen. Treiber für diese außergewöhnliche Entwicklung waren und sind die extremen Anforderungen an die technischen Lösungen, die hier wie in keinem anderen Gebiet extreme Gegensätze miteinander verbinden müssen. Es sei an dieser Stelle eine Auswahl von Disziplinen genannt, die in besonderem Maße Innovationen in andere Technikbereiche einbringen konnten.

2.2.1 Moderner Leichtbau

Alle Entwurfs-, Konstruktions- und Fertigungsmethoden des modernen Leichtbaus haben ihren Ursprung in der Luftfahrt, da hier das Gewicht die kritische leistungsbestimmende Größe ist und gleichzeitig höchste Festigkeit sowie Wartbarkeit über Jahrzehnte, höchste Formgenauigkeit sowie weitere Forderungen nach Reparaturverfahren, Blitzschutz, Korrosion usw. zu erfüllen sind. Moderne Finite-Elemente-Methoden, moderne Faserverbundwerkstoffe, ihre Berechnungs- und Fertigungsmethoden sowie Fehlererkennungsverfahren haben alle ihren Ursprung im Flugzeugbau. Während seit über 40 Jahren Bauteile aus Faserverbundwerkstoffen in Flugzeugen eingesetzt werden, kommt diese Technologie erst heute im Automobilbau zur Anwendung. Gleiches gilt für moderne Hochleistungswerkstoffe aus Aluminium-Legierungen, Titanwerkstoffe und auch Faserverbund-Metall-Hybride ebenso wie moderne Fertigungsverfahren wie Additive Fertigung,¹ die ihre Ursprünge in luftfahrttechnischen Anwendungen gefunden haben.

1 Siehe auch Leopoldina-Stellungnahme „Additive Fertigung“ (2016), Link: http://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/2016_Stellungnahme_AdditiveFertigung.pdf (Stand: 8.5.2017).

2.2.2 Aerodynamik

Die Anfänge des Flugzeugbaus waren mit dem wissenschaftlichen Verständnis von Kräften und Momenten aus Strömungsvorgängen verbunden. 50 Jahre vor dem Erscheinen fundierter Entwurfsgrundlagen in der Automobilindustrie war ein tiefes Verständnis der Strömungsvorgänge erreicht, die Auswirkungen auf die Gestaltung von Flugzeugen in der engen Abfolge immer neuer Konfigurationen waren für jeden ersichtlich. Neben dem ersten Einsatz von Windkanälen in den 1930er Jahren wurden nach dem Zweiten Weltkrieg die „Computational Fluid Dynamics (CFD)“ entwickelt. Diese numerische Methode zur Erforschung von Strömungen erwies sich in der Folge als höchst leistungsfähig und wird bis heute von vielen anderen Branchen herangezogen. Die moderne Aerodynamik legte auch die Basis für neue Luftfahrtantriebe wie Strahl- und Raketentriebwerke.

2.2.3 Flugmechanik

In seiner Publikation „Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst“ stellte Otto Lilienthal 1896 die Ergebnisse seiner wissenschaftlichen Untersuchungen zur Mechanik des Fliegens vor. Er entdeckte die Widerstandspolare als Basis aller späteren Berechnungen. Es schlossen sich Optimierungsrechnungen der Flugleistungen für große Strecken an. Nach dem Zweiten Weltkrieg konnten mit Hilfe der modernen Regelungstechnik und der Anwendung der Laplace-Transformation die Flugeigenschaften im Zeit- und Frequenzbereich erstmals beschrieben und so komplexe Schwingungsformen erklärt und umgesetzt werden. Aufgrund der hohen Nichtlinearität der Gleichungen wurde die bezogene Schreibweise mit dimensionslosen Parametern eingeführt, die heute in der Ingenieurwissenschaft weit verbreitet ist. Heute sind wir in der Lage, ein vollständiges elastisches Flugzeug mit hunderten von Freiheitsgraden im Modell und der Simulation zu beschreiben und alle wesentlichen Eigenschaften über Regelungssysteme einzustellen. Dieses Maßschneidern eines „Control Configured Vehicle (CCV)“ wurde erstmals auch für stark instabile Flugzeuge in Deutschland umgesetzt und wird in einigen Jahren auch in die Automobiltechnik Einzug halten.

2.2.4 Antriebstechnik

Der wesentliche Beitrag des Flugzeugbaus zur Antriebstechnik sind die Erfindung der Gasturbine und deren Einsatz als Flugzeugtriebwerk. Hans

Joachim Pabst von Ohain spielte hier ab 1937 eine Pionierrolle und ermöglichte das erste Strahlflugzeug. Diese Antriebstechnik hat in den letzten 70 Jahren außerordentliche Fortschritte im Gesamtwirkungsgrad des Flugtriebwerks gezeigt und ist heute der Weltstandard für große Transportflugzeuge, aber auch für die Erzeugung von elektrischer Energie in Gaskraftwerken oder beim Schiffsantrieb. Die numerischen Methoden (CFD) waren auch in diesem Bereich ebenso entscheidend für die stetige Verbesserung der Wirkungsgrade wie moderne Fertigungsverfahren zur Reduktion des Gewichts von Komponenten des Antriebs bei gleichzeitiger Verbesserung der Zuverlässigkeit und der Effizienz. Nach wie vor findet in der Antriebstechnik eine dynamische Entwicklung neuer Technologien statt. So konnte in den vergangenen 40 Jahren der spezifische Verbrauch der Flugantriebe um 70 Prozent reduziert werden. Heute konzentriert sich die Entwicklung auf die weitere Verringerung des spezifischen Verbrauchs und der Lärmemissionen. Ansätze zur Verbesserung des Vortriebswirkungsgrads sind der Getriebefan in Kombination mit sehr hohen Bypass-Verhältnissen und der „Open-Rotor“. Der Getriebefan ermöglicht zugleich eine deutliche Lärmreduktion. Der thermische Wirkungsgrad lässt sich beispielsweise durch den Einsatz von Zwischenkühlern und Abgaswärmetauschern weiter steigern. Längerfristige Konzepte sehen die Schubzeugung durch verteilte, elektrisch angetriebene Fans in Kombination mit einer Stromerzeugung durch Gasturbine und Generator mit Unterstützung durch Batterien oder Brennstoffzellen vor.

2.2.5 Regelungstechnik und Sensorik

Mit der Steigerung der Größe und Leistungsfähigkeit von Flugzeugen wurden Schwierigkeiten für den Piloten erkennbar, bestimmte Schwingungsformen des Flugzeugs zu beherrschen. Neben der Regelungstheorie, die hier ihren Anfang nahm, wurden auch kreiselbasierte Inertialsensoren erfunden, um z.B. die Roll-Gier-Schwingung automatisch zu dämpfen. Die mathematischen Werkzeuge der Laplace-Transformation wurden erstmals für die Beschreibung der Eigenschwingungsformen von Flugzeugen in der Regelungstechnik eingesetzt und führten zu einer turbulenten Entwicklung neuer Entwurfs- und Bewertungsverfahren und einer Reihe von sehr leistungsfähigen Werkzeugen, die heute in jeder Branche verwendet werden. Hier sei nur das Programmsystem MATLAB genannt. So konnten Ingenieure erstmals verlässliche Aus-

sagen über die Stabilität, Robustheit und Steuerbarkeit komplexer Systeme machen. Sie stützten sich dabei auf andere Gebiete wie die Messtechnik und auch die neu aufkommende Simulationstechnik, die ebenfalls durch die Luftfahrt entstanden ist.

2.2.6 Inertialtechnik und Navigation

Die Anfänge der Inertialmesstechnik mit Hilfe von Kreiselssystemen liegen, wie zuvor schon ausgeführt, ebenfalls in der Luftfahrt. Später kamen dann die ersten „Strap-down-Systeme“ mit räumlich fixierten Sensoren als Laser- oder faseroptische Kreisel auf, heute sind Sensoren in Mikro-Systembauweise (MEMS) wesentliche Treiber bei Miniaturisierung und Kostensenkung von Systemen unbemannter Fluggeräte. Während erste Kurskreisel noch 20 kg wogen und analog über pneumatische Regelsysteme ausgewertet wurden, sind heute komplette Autopiloten-Systeme auf Chip-Basis mit kompletter Inertial- und Kompassstechnologie (Dreiachs-Beschleunigungsmesser und -kreisel sowie Magnetometer) für wenige Euro und in Daumennagelgröße zu erhalten. Diese Entwicklungen wurden und werden von der Luftfahrtanwendung initiiert und weiter vorangetrieben.

2.2.7 Funknavigation

Seit Anbeginn der Luftfahrt war der Flug bei Nacht oder bei schlechten Sichtverhältnissen eine große Herausforderung und Gefahrenquelle. Zu Beginn wurden Funkpeilverfahren aus der Marinetechnik übernommen, dann jedoch schnell zu komplexen Systemen wie dem Instrumenten-Landesystem, VOR-Funkfeuern und am Ende zu Satelliten-Navigationssystemen weiterentwickelt. Nutznießer sind heute die Automobilindustrie, die Schifffahrt und auch der allgemeine Nutzer moderner Smartphone-Technologie. Während sich in der Marine-Anwendung lange die Morse-Technologie mit niedrigen Frequenzen und sehr hohen Reichweiten hielt, war die Luftfahrt von Beginn an auf schnelle Sprechfunkverbindungen angewiesen, verbunden mit Funkpeilung und der Behandlung von Störungen. Erste Frequenz-Modulationen im Sprechfunk kamen in der Luftfahrt auf und bildeten die Grundlage für die moderne Telekommunikation. Die Radar-Technologie hat ihre Grundlage ebenfalls in der Luftfahrt und schützt heute auch den Autofahrer vor Gefahren bei schlechter Außensicht.

2.2.8 Systemtechnik sicherer Systeme

Während zu Beginn der Entwicklung von automatischen Führungssystemen der Pilot auch physisch noch die Systeme überstimmen konnte, waren mit steigender Flugzeuggröße bald so große Kräfte erforderlich, dass der Mensch nur noch den Sollwert vorgeben konnte – den Rest erledigten hydraulische, pneumatische und heute zunehmend elektrische Systeme, deren Zuverlässigkeit durch Redundanz und intelligente Fehlererkennungsalgorithmen sichergestellt wurde. Derartige Systeme mit extremer Sicherheit unter harten Echtzeitbedingungen bereitzustellen ist eine weitere Leistung der Luftfahrttechnik, die heute weiten Anwendungsgebieten in der Raumfahrt, im Straßen- und Schienenverkehr und zunehmend auch in der Werkzeugmaschinenindustrie zugutekommt. Neben den Technologien sind die Denkmodelle, Anforderungen und Nachweisverfahren entscheidende Beiträge für hochsichere Systeme in allen Branchen.

2.2.9 Strukturdynamik

Extremer Leichtbau führt zwangsläufig zu elastischen Gebilden, deren Eigenschwingungsformen erhebliche Probleme bereiten können, da sie durch moderne Regler oder den Piloten nicht angeregt werden dürfen. Die Luftfahrt hat schnell innovative Beschreibungsformen gefunden, um die wesentlichen Effekte zu verstehen und zu beherrschen. Heute bringt die Luftfahrt Lösungen für komplexe Interaktionen von Strömung und Struktur in die Wissenschaft ein und gibt ein herausragendes Beispiel für den interdisziplinären Charakter der Flugwissenschaften.

2.2.10 Simulationstechniken

Bereits früh wurde erkannt, dass die frühzeitige Bewertung neuer Konfigurationen im Flugzeugbau eine zuverlässige Simulation als Werkzeug braucht, um frühe Ansätze des „Concurrent Engineering“ umzusetzen, die in der Luftfahrt entstanden sind. Gleichzeitig wurde klar, dass dynamische Kopplungseffekte zwischen Flugzeug und Pilot die Beherrschung im Flug stark erschweren können und ein Training unverzichtbar war. Die moderne Flugsimulation entstand, zunächst mit Analogrechnern und einfachsten Liniengrafiken zur Darstellung von Horizont und Landebahn, doch mit der Entwicklung der Rechnertechnologie wurde schnell ein breiter Markt für Ausbildungsmittel geschaffen. Die Simulationstechnik

konnte das intensive Flugtraining mit Flugzeugen fast vollständig ersetzt werden. Diese Ansätze der dynamischen Simulation sind in der Luftfahrt entstanden und finden heute in jeder Ingenieurdisziplin Anwendung.

2.2.11 Dynamik der Mensch-Maschine-Interaktion

Mit dem Aufkommen leistungsfähiger Flugzeuge mit guten aerodynamischen Eigenschaften wurde auch die Problematik der Kopplung von Pilot und Flugzeug virulent, heute „Pilot-Aircraft-Coupling (PAC)“ genannt, was die gefürchteten „Pilot-Induced-Oscillations (PIO)“ mit beinhaltet. Nach dem Zweiten Weltkrieg entstand ein neuer Wissenschaftszweig, der den Menschen als dynamisches Element im Zusammenspiel mit Maschinen mit Hilfe der neuen Werkzeuge der Systemdynamik zu beschreiben verstand. Neue Verfahren und auch Anforderungen wurden definiert, um eine sichere Handhabung auch in schwierigen Situationen zu garantieren. Diese Ansätze sind später dann in die Kraftfahrzeugtechnik, die Schifffahrt und auch den Kranbau weitergegeben worden.

2.2.12 Hochgeschwindigkeits-Fahrdynamik

Die hohe Landegeschwindigkeit aerodynamisch guter Flugzeuge mit hoher Flächenbelastung führte im Bereich der Fahrwerke zu ersten Beschäftigungen mit den Effekten der Hochgeschwindigkeits-Dynamik des Bremsens. Es entstand das „Anti-Skid-System“, das dann als Anti-Blockier-System in die KFZ-Industrie übernommen wurde.

2.3 Universitäre Forschung und Lehre

Die institutionelle Forschungslandschaft in der Luftfahrt umfasst eine Vielzahl von Hochschulen, Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen (siehe Abbildung 1).

Im Bereich der Universitäten lassen sich neun Hochschulen benennen, die einen ausgeprägten Schwerpunkt in der Luftfahrt haben. Diese Universitäten haben sich in den letzten Jahren zu einem leistungsstarken Netzwerk zusammengeschlossen, das die Universitäten RWTH Aachen, TU Berlin, TU Braunschweig, TU Darmstadt, TU Dresden, TU Hamburg-Harburg, TU München, Universität der Bundeswehr München und die Universität Stuttgart umfasst. Sieben dieser Universitäten gehö-

ren zur „TU9“, der Gruppe der führenden Technischen Universitäten in Deutschland. Die Luftfahrt-Universitäten zeichnen sich durch exzellente Forschung und Lehre und einen hohen Anteil internationaler Studierenden aus. Luftfahrtforschung findet auch im Bereich des allgemeinen Maschinenbaus, der Informatik und der Elektrotechnik z.B. am Karlsruher KIT in erheblichem Umfang statt.

An den Luftfahrt-Universitäten lehren und forschen ca. 90 Vollzeit-Professorinnen und -Professoren und ca. 1300 wissenschaftliche Mitarbeiter im Bereich der Luftfahrt. Jedes Jahr schließen etwa 800 Absolventen ihr Studium mit Master oder Diplom ab und ca. 150 Nachwuchswissenschaftler erreichen die Promotion.

Ein großer Teil dieser Universitäten hat die Entwicklung der Luftfahrt von Anfang an mitgeprägt und damit entscheidend zum Aufbau der deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie beigetragen.

Diese Universitäten

- bilden in der Lehre und Weiterbildung exzellente Absolventen und Wissenschaftler aus,
- kooperieren in der Forschung eng mit der Industrie, den außeruniversitären Forschungseinrichtungen (z.B. das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR) und untereinander und
- decken die gesamte Bandbreite der Luftfahrt- und Luftverkehrsdisziplinen ab und stellen so die Systemintegrationsfähigkeit sicher.

Den Universitäten kommt die Schlüsselrolle und auch das Privileg zu, den zukünftigen Fachkräften vor ihrem Einstieg in die Industrie die fachliche Basis und ein fundiertes Verständnis des aktuellen Stands der Technik mitzugeben. Um dieser Zielsetzung nachzukommen, richten sich Lehre und Forschung an den aktuellen Fragen der Luftfahrt aus. Der universitären Forschung kommt in diesem Zusammenhang eine besondere Bedeutung zu, da sie

- Studierende, Doktorandinnen und Doktoranden frühzeitig in aktuelle Forschungsfragen einbindet,
- die Voraussetzung für wissenschaftliches Fachpersonal liefert,
- die Grundlage zur Vermittlung des Stands der Technik bereitstellt und

- durch ihren Freiraum für die Förderung kreativer Lösungsansätze einen wesentlichen Beitrag zur Innovationsfähigkeit des Standorts Deutschland leistet.

Neben den klassischen Luft- und Raumfahrtdisziplinen, wie u.a. die Aerodynamik, die Flugmechanik und der Leichtbau, die im Maschinenbau angesiedelt sind, werden heute auch verstärkt Studenten der Fachbereiche Elektrotechnik und Informatik mit einer Schwerpunktbildung in Luft- und Raumfahrt ausgebildet. Trotz der bedeutenden Rolle dieser Fächer für die Luft- und Raumfahrt haben sich dort jedoch kaum explizite luftfahrtspezifische Studiengänge und Fachrichtungen entwickelt.

In den vergangenen Jahren kann ein sich verstärkender Trend zum Einsatz von Absolventen der Luftfahrtstudiengänge in fachfremden Branchen festgestellt werden – allen voran in der Automobilindustrie –, da diese den Wert der Ausbildung mit einer ganzheitlichen Herangehensweise an komplexe technische Probleme zunehmend für sich erkennen.

2.4 Großforschungseinrichtungen der Luftfahrt

Deutschland hat mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) und seinen Vorgängerinstitutionen (DFVLR, DFL, DVL u.a.) eine lange Tradition in der Großforschung für die Luftfahrt. Das DLR ist heute die größte Luftfahrt-Forschungseinrichtung Europas und agiert in der Luftfahrtforschung auf Augenhöhe mit Einrichtungen wie der US-amerikanischen NASA. Derzeit sind über 8000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in 26 Instituten an 14 Standorten tätig und beschäftigen sich mit allen Themen der modernen Luftfahrt, der Raumfahrt, der Energie- und Verkehrsforschung. Das DLR arbeitet dabei intensiv mit Großforschungsanlagen und in enger Kooperation mit europäischen und internationalen Partnern wie Onera, NASA und Jaxa. Zudem verantwortet das DLR das Raumfahrt-Management der Bundesregierung und ist auch Projektträger als Partner der öffentlichen Hand. Es wird getragen von Bund und Sitzländern und führt neben der zivilen Forschung auch Untersuchungen im Bereich der zivilen und militärischen Sicherheitstechnik durch. Zur Wahrnehmung seiner Forschungsaufgaben hat das DLR regionale Netzwerke mit regionalen Universitäten aufgebaut.

Auch einzelne Institute der Fraunhofer-Gesellschaft sind im Bereich der Luft- und Raumfahrt aktiv. Ergänzend dazu haben sich aber auch kleinere und spezialisierte Forschungseinrichtungen, wie z.B. das Bauhaus Luftfahrt, etabliert.

Der Verbund aus Großforschung und universitärer Forschung bietet sowohl der Wissenschaft als auch der Wirtschaft eine unvergleichliche Infrastruktur für die Entwicklung modernster Flugzeugtechnologie. Diese national äußerst umfangreiche Fähigkeit gilt es mit entsprechenden industriellen Fähigkeiten zu verbinden.

2.5 Großanlagen der Luftfahrtforschung

In Deutschland existiert eine Forschungs-Infrastruktur für die Luftfahrt, die von keinem anderen EU-Land auch nur annähernd erreicht wird. Neben einer gemeinschaftlichen Großorganisation für den Betrieb von Windkanälen (Stiftung Deutsch-Niederländische-Windkanäle DNW) hat das DLR eigene Windkanäle, zudem steht der Europäische Transsonische Windkanal in Köln für Forschung und Industrie bereit. An den deutschen Universitäten und beim DLR sind komplementär dazu kleinere und mittlere Strömungskanäle in Betrieb, um kostengünstig grundlegende Fragen zu untersuchen. Gleiches gilt für weitere Versuchsanlagen, wie z.B. in der Antriebstechnik und der Systemtechnik, die komplementär an Instituten des DLR ebenso wie an den Universitäten verfügbar sind.

Ein weiterer besonderer Bereich ist die Verfügbarkeit von Versuchsflugzeugen in Deutschland: Das DLR betreibt die größte Versuchsflugzeug-Flotte Europas (Nr. 2 nach der NASA), hinzu kommen noch weitere Versuchsflugzeuge an Universitäten (Braunschweig, Darmstadt, München u.a.). Die DLR-Versuchsflotte reicht vom Airbus-A320-Träger ATRA und vom fliegenden Hubschrauber-Simulator EC-135 FHS über eine Reihe kleinerer Propellerflugzeuge bis hin zu kleinen unbemannten Versuchsträgern.

Im Bereich der Simulatoren ist das neue Flugsimulationszentrum AVES des DLR in Braunschweig zu nennen, das modernste Forschungszentrum für Simulation in Europa. Hinzu kommen zahllose weitere Simulatoren an DLR- und Universitätsinstituten in ganz Deutschland.

In Stade und Augsburg hat das DLR Großeinrichtungen zur Erforschung der Fertigung großer Faserverbundbauteile errichtet. DLR und Universitäten betreiben ein großes Portfolio weiterer Prüfstände und Versuchseinrichtungen für Strukturversuche, die häufig weltweit Leistungsstandards setzen.

Kein anderes europäisches Land hat vergleichbare experimentelle Fähigkeiten, weltweit können nur die USA mit umfangreicheren Einrichtungen aufwarten.

3 Besondere Bedingungen in der Luftfahrtbranche

Deutschland als weltweit stark vernetzte Volkswirtschaft profitiert in besonderem Maße von einem effektiven Luftverkehrssystem. Die Bedeutung des Luftverkehrs wird zukünftig noch weiter zunehmen. So wird bis 2030 mit einer Verdoppelung der globalen Flotte von Verkehrsflugzeugen gerechnet. Angesichts des hohen Wachstums steigen aber auch die negativen Auswirkungen auf die Umwelt. Lärm- und Schadstoffbelastungen durch die Flugzeuge stehen bereits heute in der Kritik. Es bedarf deshalb großer technologischer Anstrengungen, um die Belastungen durch Fluglärm und Emissionen zu verringern. Der europäische Forschungsbeirat ACARE gibt dazu im Dokument „Flightpath 2050“ ambitionierte Ziele vor. Zur Umsetzung dieser Ziele besteht großer Forschungs- und Entwicklungsbedarf sowohl im Flugverkehrsmanagement als auch bei den Flugzeugen selbst. Hierzu können die deutsche Luftfahrtforschung und Luftfahrtindustrie entscheidende Beiträge liefern. Eine wichtige Voraussetzung dafür ist der Erhalt der Systemfähigkeit und des leistungsfähigen Zusammenspiels von Wissenschaft und Industrie. Im Folgenden wird auf diese Punkte näher eingegangen.

3.1 Systemfähigkeit

Der Begriff der „Systemfähigkeit“ beschreibt die Fähigkeit, alle wesentlichen Disziplinen sowie deren Abhängigkeiten untereinander soweit zu integrieren, dass die Möglichkeit zur Definition und Entwicklung entsprechender Produkte gegeben ist. Dies schließt den Prozess der Wissens- und Technologieentwicklung zwingend mit ein.

Die Systemfähigkeit ist von zentraler Bedeutung besonders in internationalisierten Industriestrukturen, denn nur sie erlaubt in einem industrie-strategisch zentralen Bereich gleichberechtigtes Handeln.

Damit einher geht auch die Fähigkeit der öffentlichen Hand, öffentlich zu beschaffende Produkte, z.B. für den militärischen Bedarf, zu spezifizieren und entsprechend dem eigenen Bedarf zu beschaffen.

Die Systemfähigkeit kann in verschiedene Ausprägungsstufen unterteilt werden:

- **Beurteilungsfähigkeit** – die Fähigkeit, die Eigenschaften eines Systems vollständig zu analysieren und auf Eignung zu überprüfen, wichtig z.B. für den militärischen Kunden, um Produkte auszuwählen oder abzulehnen, oder auch für die Entwicklung von Lärmvorschriften für die Gesetzgebung in der zivilen Luftfahrt.
- **Spezifikationsfähigkeit** – die Fähigkeit, alle Subsysteme sowie deren Integration so zu spezifizieren, dass das Gesamtsystem im geplanten Zeit- und Kostenrahmen entstehen kann.
- **Umsetzungsfähigkeit** – die Fähigkeit, unter Einschluss der vorherigen Eigenschaften ein System am Markt zu platzieren, also das Umsetzungsrisiko in Zeit und Kosten vollständig vorab zu erfassen und die Umsetzung unter den relevanten Randbedingungen (z.B. Umweltverträglichkeit) verantwortlich zu gestalten.

Die Systemfähigkeit ist nicht nur ein technologisch definierter Begriff, vielmehr gehören sehr viele weitere Themen dazu, vor allem im Bereich der Zulassung, der Erprobung sowie des gesamten Logistik-Prozesses. Sie ist definiert durch eine Gruppe von Kernfähigkeiten, um die sich weitere Themengebiete gruppieren. Kennzeichen der Kernfähigkeiten ist, dass sie in der heutigen weltweiten Luftfahrtbranche nicht in Konkurrenz ausgeschrieben werden können, sondern die zentralen Merkmale einer systemfähigen Industrie darstellen. So werden sich auch nationale Systemtechnologien z.B. der Zulieferindustrie nur dann global durchsetzen können, wenn die Unternehmen in der Lage sind, die systemische Integration in ein Gesamtflugzeug sicherzustellen, also auf Gesamtsystem-Know-how zurückgreifen können. Die Identifikation übergreifender Leistungsmerkmale und Systemfähigkeiten spielt hierbei eine zunehmend wichtige Rolle in der Beauftragung von Systemkomponenten an Zulieferer.

Im Umkehrschluss bedeutet der Verlust der Kernfähigkeit, dass die verbleibenden Aufgaben der deutschen Industrie in Zukunft leichter konkurrenzierend auf dem Weltmarkt ausgeschrieben werden können, da die Einstiegshürden geringer werden. Deutschland hat heute trotz des zunehmenden Verlusts von Kernfähigkeiten eine wachsende Beschäftigung in der Luftfahrt – hier kommen Effizienzvorteile und Innovationskraft der na-

tionalen Wirtschaft zum Tragen, auch der allgemeine Boom der Luftfahrt wirkt dabei unterstützend. Dieser Trend wird nicht dauerhaft sein, wenn zunehmend neue Schwellenländer der Luftfahrt in den Markt einsteigen, allen voran China, Südkorea und Brasilien, und Fähigkeiten entwickeln, die in Deutschland allokiert wurden. Langfristig entsteht ein hohes Risiko, dass hochqualitative Arbeitsplätze damit in Deutschland verloren gehen.

3.2 Produktzyklen in der Luftfahrt

Die Luftfahrt ist durch extrem lange Zykluszeiten gekennzeichnet. Dieser Faktor erschwert in besonderem Maße die Beurteilung der Situation, da Veränderungen sehr langsam passieren und für Externe schwierig zu beobachten sind. Wichtig ist die Kenntnis der Natur des Wissens- und Kompetenzaufbaus in einer Volkswirtschaft im Bereich des Flugzeugbaus. Es sind unterschiedliche Zyklen wirksam, die es zu unterscheiden gilt:

- Der Produktzyklus von Flugzeugen ist in Jahrzehnten bemessen. Der Erstflug des Airbus A320 fand im Jahr 1987 statt, das Nachfolgemodell wird aus heutiger Sicht nicht vor 2035 in Betrieb gehen; dazwischen sind nur Modellpflege-Varianten vorgesehen. Im Bereich der wehrtechnischen Flugzeugprodukte ist diese Spanne in gleicher Größenordnung gegeben, in Einzelfällen sogar noch ausgedehnter.
- Der Wissens- und Lehre-Aufbauzyklus ist durch die Tatsache gegeben, dass zukünftige Hochschullehrerinnen und -lehrer in der Regel in einem Flugzeugprojekt ihre beruflichen Erfahrungen sammeln, an die Universität bringen und die nächste Generation von Flugzeugbau-Ingenieuren und – Ingenieurinnen ausbilden, die dann im gleichen oder im Nachfolge-Produkt ihre berufliche Leistung erbringt. Dieser Zyklus des Wissensaufbaus für Forschung und Lehre kann länger als ein Produktzyklus dauern.

Besonders dieser zeitliche Aspekt wird in der Diskussion oft vernachlässigt. Er wird dadurch noch verstärkt, dass ein Verlust von Kernfähigkeiten nicht realistisch reversibel ist und die Fähigkeiten nur unter erheblichen und sehr lange aufrecht erhaltenen Anstrengungen erneut aufgebaut werden könnten.

3.3 Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Industrie

Das Miteinander von Wissenschaft und Industrie ist besonders in den Ingenieurwissenschaften durch eine starke wechselseitige Abhängigkeit geprägt. Von der Industrie beziehen die Hochschulen und Forschungsinstitutionen erfahrene fachliche Führungskräfte als Professorinnen und Professoren und erhalten Drittmittelaufträge sowie Zugang zu aktuellen industriellen Problemstellungen. Von den wissenschaftlichen Institutionen bezieht die Industrie im Gegenzug gut ausgebildete Ingenieurinnen und Ingenieure sowie das neueste Fachwissen für die Entwicklung zukünftiger Produkte. Dies gilt im besonderen Maße in der Luftfahrt.

Der enge wechselseitige Austausch hat in den letzten 100 Jahren der industriellen Entwicklung der Luftfahrt in Deutschland einen wesentlichen Anteil an der führenden Position deutscher Technologien gehabt. Eine breite industrielle Basis sorgte in der Vergangenheit dafür, dass die Universitäten unter vielen exzellenten Bewerberinnen und Bewerbern die Besten aus Industrie und Forschung als neue Professorinnen und Professoren gewinnen konnten. Diese Schlüsselpersonen wiederum konnten mit ihrem Wirken die besten Nachwuchskräfte für ihre Themen interessieren und durch die Attraktivität von Spitzenforschung hier den Nachwuchs sichern als Grundlage für die nächste Generation von Schlüsselpersonal in der Wirtschaft. Die enge Verbindung zwischen der Industrie und der Wissenschaft war dabei ein Garant dafür, dass die Wissenschaft sich an den relevanten Problemen der industriellen Umsetzung orientierte und die Lehre praxisnah ausgerichtet wurde.

Durch den Abbau wichtiger Kernfähigkeiten der deutschen Luftfahrtindustrie im Zuge der Integration auf europäischer Ebene ist der Fortbestand des so erfolgreichen Modells der Zusammenarbeit von Wissenschaft und Industrie gefährdet. Es ist festzustellen, dass die Besetzung von Professuren in Kernbereichen des Flugzeugbaus, beispielsweise im Flugzeugentwurf, in der Flugmechanik oder in der Systemtechnik, in den letzten Jahren kontinuierlich schwieriger geworden ist. In diesen Fächern sind kaum noch geeignete Fach- und Führungskräfte zu finden. Darüber hinaus ist auch die Bewerberlage bei exzellenten internationalen Kandidatinnen und Kandidaten nicht zufriedenstellend. Außerhalb des deutschsprachigen Raums ist der Wechsel aus einer Führungsposi-

tion in der Industrie in die Wissenschaft unüblich. Das Erfolgsmodell der deutschen Ingenieur-Ausbildung ist dort nicht etabliert.

Doch auch die Art der Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Industrie hat sich deutlich verändert. Immer häufiger werden direkte Kontakte zwischen Wissenschaftlern und industriellen Experten durch formalisierte Internetportale zur Ausschreibung von Themenstellungen für studentische Praktika und Abschlussarbeiten ersetzt, wodurch die kraftvolle direkte Interaktion der Partner deutlich erschwert wird.

Hinzu kommt, dass die Attraktivität von Hochschulprofessuren für Industrieforscher in den Ingenieurwissenschaften generell abgenommen hat. Wichtige Faktoren hierfür sind der Bologna-Prozess und die damit verbundene Rollenänderung von Universitäten und Fachhochschulen, die abnehmende Eigenständigkeit, Planungssicherheit und Ausstattung der Professuren sowie die stagnierende individuelle Besoldung der Professoren. Diese allgemeine Entwicklung soll jedoch nicht Thema dieses Diskussionspapiers sein. Der genannte Wandel vollzieht sich langsam, von der Öffentlichkeit weitgehend unbemerkt. Es ist jedoch ein besonderes Merkmal von strategisch relevanten Vorgängen, dass sie über sehr lange Zeiträume betrachtet werden müssen, um ihre Bedeutung zu erkennen. Das gilt aufgrund der sehr langen Produktzyklen besonders für die Luftfahrt. Die Gefahr, dass aus diesem Grund kurzfristige andere Themen in den Vordergrund rücken, ist daher ständig gegeben.

3.4 Die deutsche Luftfahrtindustrie

Die deutsche Luft- und Raumfahrtindustrie als Teil der globalen Luftfahrtindustrie ist national ein starker Job- und Innovationsmotor. Im Geschäftsjahr 2016 stieg der Umsatz der Branche im Vergleich zum Vorjahr um 8 Prozent und erreichte ein Allzeithoch von 37,5 Mrd. Euro.² Die Zahl der direkt in der Luft- und Raumfahrtindustrie Beschäftigten nahm im gleichen Zeitraum um 1 Prozent auf 108.000 zu und verzeichnete damit ein neues Rekordhoch.

2 Bundesverband der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie e.V. (BDLI) Branchendaten der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie (2016), Berlin, Link: <https://www.bdlf.de/publikationen/branchendaten-der-deutschen-luft-und-raumfahrtindustrie-2016> (Stand: 9.5.2017).

Standorte zur Luftfahrt in Deutschland



Hinweis: siehe auch Liste in Anhang

U Universität ▲ DLR Luftfahrt ✈ Flugzeughersteller ✨ Triebwerkhersteller ● Zulieferer

Abbildung 1: Luftfahrtforschung und Flugzeugherstellung in Deutschland. Die Karte zeigt, wo Universitäten oder das DLR forschen und wo Hersteller und Zulieferer angesiedelt sind.

Die Branche umfasst die Hersteller von Luft- und Raumfahrtsystemen, Triebwerkshersteller sowie die Ausrüstungs- und Werkstoffindustrie. Nicht enthalten sind die Unternehmen der Luftverkehrswirtschaft wie beispielsweise Fluggesellschaften und Betreiber von Flughäfen.

Das größte Segment der Branche bildet mit 70 Prozent der Beschäftigten die zivile Luftfahrt. 22 Prozent entfallen auf die Verteidigung und Sicherheit, 8 Prozent auf die Raumfahrt. Der „Bundesverband der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie“ (BDLI) zählt 230 Mitgliedsunternehmen, von denen die meisten klein- und mittelständisch geprägt sind. Der Prozess der Konsolidierung und Internationalisierung in der Luftfahrtindustrie hat dazu geführt, dass neben einer Vielzahl von Zulieferern nur noch sehr wenige Systemhersteller als Teil internationaler Verbände in Deutschland verblieben sind.

Der größte Teil der Unternehmen konzentriert sich auf wenige Standorte rund um die großen Systemhersteller (siehe Abbildung 1). Der Schwerpunkt des zivilen Flugzeugbaus liegt rund um Airbus Operations in Hamburg, Bremen, Niedersachsen und Bayern. Der militärische Flugzeugbau (rund um Airbus Defence and Space und Zulieferer) und der Bau von Hubschraubern (rund um Airbus Helicopters) sind primär in Bayern angesiedelt. Wichtige Hersteller von Flugzeugtriebwerken sind in Berlin (Rolls-Royce) und München (MTU) beheimatet.

Auch wenn der Umsatz der Luft- und Raumfahrt kleiner ist als derjenige der Automobilindustrie, so liegt der Anteil der Ausgaben für Forschung und Entwicklung mit einem Anteil von 12 Prozent weit über dem anderer Branchen. In der Automobilindustrie beläuft sich dieser Anteil auf nur etwa 5 Prozent. Das verdeutlicht das Innovationspotenzial der Luftfahrtindustrie.

Im europäischen Vergleich steht die deutsche Luftfahrt nach Frankreich und Großbritannien erst an dritter Stelle. Das hat zum einen historische Gründe (Unterbrechung des Flugzeugbaus in Deutschland nach dem Zweiten Weltkrieg bis 1955), zum anderen ist das strategische (auch politische und gesellschaftliche) Interesse an der Luftfahrt vor allem in Frankreich deutlich höher als in Deutschland, da es dort die mit Abstand wichtigste Branche der Hochtechnologie darstellt. Im europäischen Vergleich hat die deutsche Luftfahrt deshalb noch Entwicklungspotenzial.

Beim Export von Hochtechnologieprodukten gehören Luftfahrzeuge und die zugehörige Ausrüstung mit einem Anteil von 17 Prozent in

Deutschland zu den größten Warengruppen.³ Das unterstreicht die Bedeutung der Luftfahrt für die Exportnation Deutschland. Denn gerade der Anteil von Hochtechnologie am Export gilt als Indikator für die wirtschaftliche Entwicklung und den technologischen Stand eines Landes sowie dessen internationale Wettbewerbsfähigkeit.

3 Loschky, A. und Triebkorn, E.: Globalisierung des Fortschritts – Außenhandel mit Hochtechnologieprodukten und technologischen Dienstleistungen. Destatis 2011.

4 Situationsanalyse

4.1 Die Luftfahrt vor epochalen technischen Veränderungen

Seit Erfindung des Pfeilflügels 1935 durch Adolf Busemann in Braunschweig und der Entwicklung des Turbotriebwerks durch Hans Joachim Pabst von Ohain ab 1937 in Göttingen und Warnemünde sehen die Entwürfe für moderne Verkehrsflugzeuge ähnlich aus. So ist der Unterschied zwischen einer Boeing 707 des Jahres 1957 und einem Airbus A350 des Baujahres 2016 zwar bezüglich der Leistungen, Umweltverträglichkeit sowie Reichweite und technischen Ausstattung gewaltig, doch die grundlegende Konfiguration hat sich kaum verändert. Dies ist kein Indiz für eine Stagnation der technischen Entwicklung, sondern eher ein Spiegelbild der stabilen Randbedingungen sowie der Absenz radikaler Technologiesprünge. Tatsächlich hat sich eine kontinuierliche graduelle Entwicklung im letzten halben Jahrhundert ergeben, von der Leistungsfähigkeit der Datenverarbeitung abgesehen.

Seit Jahren suchen die großen Hersteller von Verkehrsflugzeugen intensiv nach dem „Game Changer“, der zu einem deutlichen Wettbewerbsvorteil führt – bisher ohne durchschlagenden Erfolg. Neue Faserverbundbauweisen oder auch Getriebe-Fans haben Gewichts- und Leistungsvorteile ermöglicht, gleichzeitig werden die Technologien, bedingt durch die hohen Sicherheits- und Zuverlässigkeitsanforderungen, aber nur punktuell bzw. graduell eingeführt. In der Konsequenz wurde damit die Luftfahrt nicht grundlegend revolutioniert.

Geblichen ist ein Duopol bei großen Transportflugzeugen, bezüglich derer sich die beiden Anbieter in der Leistungsfähigkeit nur marginal unterscheiden. Die Duopolsituation hat zu steigendem Kostendruck und sinkenden Margen geführt. Damit ist auch eine Reduktion der vertretbaren kommerziellen Risiken verbunden, was ironischerweise zur Folge hat, dass Innovationen nur dann eingesetzt werden können, wenn die Unsicherheit der Umsetzung gering ist. Die Forschung wird

aufgefordert, radikale Neuerungen vorzuschlagen, die jedoch wenn möglich gleich mit Marktreife vorliegen sollen – ein fundamentaler Widerspruch. Damit scheint sich die Wettbewerbssituation auf ein statisches Gleichgewicht mit geringem Potenzial für große Veränderungen einzupendeln und somit den typischen sich abflachenden Verlauf reifer Technologie-Entwicklungen aufzuweisen. Dieses gilt jedoch nur für den Markt unter stabilen äußeren Bedingungen.

Ungeachtet der aktuellen Situation zeichnen sich technologische Entwicklungen ab, die eine drastische Veränderung der äußeren Bedingungen der Luftfahrt zur Folge haben können. Im Folgenden soll anhand zweier Technologiefelder exemplarisch gezeigt werden, wie neue technologische Entwicklungen zu grundlegenden Änderungen des Luftfahrt-systems führen können. Ähnliche Wirkprinzipien können auch in weiteren Bereichen, wie z.B. bei radikalen Kreisprozessen für Flugantriebe, für die vollständige Anwendung von additiven Fertigungsverfahren und auch funktionalen Strukturen absehbar sein.

4.1.1 Der elektrische Flugantrieb für emissionsfreien Flug

Mit der UN-Klimakonferenz in Paris (2015) haben sich alle führenden Industrienationen verpflichtet, langfristige CO₂-Reduktionsziele durch nationale Maßnahmen umzusetzen. Man kann daher davon ausgehen, dass die herausfordernden Reduktionsziele für die Emission von CO₂ weltweit in jeweils nationale Gesetze umgesetzt und so die Rahmenbedingungen festlegen werden – international abgestimmt, um einseitige Wettbewerbsnachteile zu vermeiden.

Die Luftfahrt wird dabei ihren Anteil leisten müssen, und das aus mehreren Gründen:

- Auch wenn der Anteil der CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe für die Luftfahrt im Jahr 2012 nur bei 2,46 Prozent lag und damit sogar gegenüber dem Jahr 2000 um 0,4 Prozent des Gesamtausstoßes abgenommen hat, wird die kritische Öffentlichkeit darauf bestehen, hier deutliche Verbesserungen entsprechend allen anderen Bereichen umzusetzen. Weil der Anteil klein ist, könnte sogar die relative vorgegebene Reduktion deutlich größer ausfallen als in anderen Bereichen.

- Die Emissionen der Luftfahrt erfolgen mehrheitlich in großen Höhen und haben damit möglicherweise einen größeren Einfluss auf das Weltklima, als dies für den bodengebundenen Verkehr in der niedrigen Troposphäre der Fall ist. Rußpartikel wirken als Kondensationskeime, Kondensstreifen wirken ebenfalls wolkenbildend in großen Höhen und sind damit klimawirksam.

Aus diesen Gründen ist ein erheblicher Handlungsdruck auch in der Luftfahrt entstanden, sich an der Reduktion der schädlichen Emissionen zu beteiligen.

Lösungen für die Luftfahrt können, analog zum bodengebundenen Verkehr, an mehreren Anknüpfungspunkten ansetzen:

1. Einsatz alternativer Energieträger aus regenerativen Prozessen (z.B. regenerative synthetische Kraftstoffe)
2. Einsatz von elektrischen Antrieben mit elektrischen Energiespeichern (Akkumulatoren)
3. Einsatz von hybrid-elektrischen Antrieben, bei denen durch Verbrennung elektrische Energie an Bord erzeugt wird und Elektromotoren antreibt
4. Einsatz von fortschrittlichen Antriebsverfahren (Antriebe mit Verbundzyklen, Propellerantriebe bei deutlich niedrigeren Flugeschwindigkeiten, aufgeladene Dieselantriebe usw.).

Während der erste Ansatzpunkt für alle Verkehrsträger gleichzeitig Wirkung zeigen würde, gibt es heute nur wenige erfolgversprechende Konzepte und Prozesslösungen, die eine notwendige Skalierung auf die benötigten Volumina der synthetischen Kraftstoffe bei gleichzeitiger ökologischer und ökonomischer Nachhaltigkeit versprechen. Unbeantwortet bleibt in diesem Fall auch die nach wie vor existierende Emission von Abgasen in großen Höhen.

Vollständig elektrische Antriebe versprechen demgegenüber eine komplette Entkopplung von der Wandlung der Primärenergie in elektrische Energie und deren Nutzung zur Vortriebserzeugung im Flug. Während elektrische Antriebsketten weit höhere Wirkungsgrade als bestehende Turbomaschinen in Aussicht stellen, limitieren heute ver-

fügbare Speicher und Motortechnologien einen unmittelbaren Einsatz bei größeren Flugzeugmustern. Hybride Antriebskonzepte könnten diese Lücke vielleicht mittelfristig überbrücken, jedoch sind die Vorteile in der Effizienzsteigerung, wenn überhaupt realisierbar, weniger stark zu erwarten als bei vollelektrischen Systemen.

Der Antrieb von Flugzeugen mit batteriebetriebenen Elektroantrieben wurde bisher nicht umgesetzt, da die spezifische Energiedichte verfügbarer Akkumulatoren nicht ausreichte, zudem waren luftfahrtgeeignete Elektromotoren hoher Leistung bei geringem Gewicht und Bauraum nicht verfügbar. In beiden Bereichen sind in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte erzielt worden, sodass heute erste rein elektrisch betriebene Klein-Flugzeuge prototypisch in der Luft sind. Es besteht wenig Zweifel, dass sich weitere Fortschritte einstellen werden und so das Segment der sinnvollen Anwendung des rein elektrischen Fliegens größer werden wird. Die erfolgreiche Implementierung bei größeren Verkehrsflugzeugen, jenseits von Regionalflugzeugen, wird zum einen von den technologischen Fortschritten in den Komponenten, aber ebenso von der gesamtsystemischen Integration abhängen. Voll- und hybridelektrische Systeme werden eine grundlegend andere Systemarchitektur des Flugzeugs zur Folge haben. Nur wer diese beiden Segmente beherrscht, wird erfolgreich Systemlösungen platzieren können.

Gleichzeitig könnte der Gesetzgeber die Rahmenbedingungen so verändern, dass eine Umsetzung in vielen Bereichen erzwungen würde. Die Auswirkungen auf die dann eingesetzten Konfigurationen und die Struktur des Luftverkehrs wären dramatisch und würden der Luftfahrtforschung auf Jahrzehnte Innovationen auf Gebieten abverlangen, die heute entweder noch unterentwickelt sind oder wegen der geringen Veränderungen der letzten Jahrzehnte kaum weiterentwickelt wurden. Eine harte Umsetzung der Umweltziele wird also in jedem Fall einen hohen Innovationsdruck auf die Luftfahrtforschung in all ihren Bereichen auslösen.

4.1.2 Unbemannte autonome Flugsysteme

Unbemannte Flugsysteme sind seit Jahrzehnten im Einsatz, die ersten Anwendungen wurden bereits während des Zweiten Weltkriegs entwickelt. Es ist bis jetzt jedoch nicht möglich, selbst ferngeführten unbemannten Luftverkehr mit bemanntem Flugverkehr zusammen im gleichen Luftraum zu kombinieren, geschweige denn ungeführten, au-

tonom fliegenden Verkehr dort einzubringen. Seit mehr als einer Dekade versuchen alle nationalen und internationalen Behörden hier Lösungen zu finden, einheitliche Ansätze waren bisher nicht dabei.

Doch dieser Zustand könnte sich jetzt in sehr kurzer Zeit dramatisch verändern. Die europäische Luftfahrtbehörde EASA hat kürzlich einen neuen Ansatz für die Zulassung von unbemannten Systemen vorgestellt, der mit allen bisherigen Zulassungsansätzen bricht und tatsächlich einen „Game Changer“ darstellt. Man geht in der „Specific“-Kategorie weg von der Zulassung eines Luftfahrzeugs hin zur Zulassung einer Flugmission. Die zu erfüllenden Forderungen betreffen die Gefährdung von anderem Luftverkehr und aller Stakeholder, die am Boden durch Fehlfunktionen betroffen sein könnten. Damit werden völlig andere Lösungsräume jenseits der heutigen Verfahren geöffnet. Auf diese Weise könnten in absehbarer Zeit zunächst unbemannte, autonom agierende Transportfluggeräte zum Einsatz kommen, doch die Reichweite der neuen Ansätze kann weit in den bemannten Luftverkehr hineinreichen und ist in der Tragweite noch gar nicht abzusehen.

Neben einer steigenden Automatisierung des klassischen zivilen Luftverkehrs werden hiermit auch neue Transportlösungen ermöglicht, die heute aufgrund der Notwendigkeit für einen Piloten nicht ökonomisch umsetzbar sind. Beispielhaft seien hierfür effiziente Lufttransportlösungen für den Betrieb in und um Städte ebenso wie personalisierter Luftverkehr genannt. Auch wenn mit diesen Lösungsansätzen der globale Luftverkehr sich nicht grundlegend ändern wird, werden massive Anpassungen in der Netzstruktur und an den Schnittstellen zu den regionalen (Luft-) Verkehrskonzepten zu erwarten sein.

Die Neugestaltung der regulativen Randbedingungen für die Nutzung autonomer Systeme wird eine Vielzahl neuer technischer Lösungen hervorbringen und damit unzählige wissenschaftliche Fragestellungen aufwerfen sowie auch wirtschaftliches Wachstum in neuen Branchen ermöglichen. Neben neuen technischen Lösungen werden ebenfalls neue Dienstleistungen entstehen und industrielle Strukturen werden sich verändern. Die nationalen und europäischen Behörden sowie ICAO werden zwangsläufig ihre Aufgaben neu aufstellen müssen, denn die Bewertung von Missionen ist deutlich komplexer als die Zertifizierung eines festen, definierten Flugzeugmusters und mit den vorhandenen Prozessen und der aktuellen Infrastruktur nicht zu leisten.

4.1.3 Gleichzeitigkeit epochaler Veränderungen

Die zuvor genannten Veränderungen im elektrischen Fliegen und im autonomen Flugbetrieb treten aktuell gleichzeitig in eine neue Phase der Anwendungsnähe. Sie treffen auf eine sehr reife und stabile Industrie- und Wissenschaftslandschaft mit dem Potenzial, komplett neue technologische Lösungen, wie zuvor beschrieben, zu ermöglichen. Die bestehende Industrie- und Wissenschaftslandschaft ist jedoch in ihren Strukturen nicht auf die radikalen Änderungen vorbereitet, unbeschadet der Tatsache, dass immer wieder danach gerufen wurde. Gleichzeitig mit radikalen Technologien in Einzeldisziplinen, wie die Antriebstechnik, der funktionale Leichtbau, die Sensorik und Datenintegration, stehen wesentliche Bausteine für einen nächsten großen Technologiekreislauf bereit. Damit ergeben sich große Chancen für alle Beteiligten, wobei die Wissenschaft naturgemäß voranschreiten muss. Es scheint nun erneut eine Periode anzubrechen, in der Pioniere Richtungen vorgeben und schnelle Umsetzer sich entscheidende Marktanteile sichern können. Dieser Umstand sollte systematisch durch alle Beteiligten genutzt werden, um die Grundlage für die technologische Weiterentwicklung national zu sichern. Jedoch ist es seit der Jahrtausendwende zu Veränderungen in der Industrie gekommen, die sich hier wie eine Schere im Gegensatz zu den aufkommenden Chancen bewegen. Diese sollen nun im Folgenden näher beleuchtet werden.

4.2 Entwicklung der System- und Forschungsfähigkeit in Deutschland

Die Luftfahrt, und hier insbesondere der Flugzeugbau, ist seit ihren Ursprüngen vor über 100 Jahren immer ein Feld für intensivste Forschung und ein Initiator für neue Technologien gewesen. Die deutsche Wissenschaft spielt hierbei eine zentrale Rolle und gehört zu den Pionieren der Luftfahrtforschung. Das gilt sowohl für die Flugzeugzelle, für die Aerodynamik, für die Antriebe, die sicheren Systeme als auch die gesamte Infrastruktur.

Kern der nationalen Leistungsfähigkeit war immer die Spitzenposition in der Wissenschaft bei gleichzeitiger intensiver Vernetzung mit der Umsetzung im industriellen Prozess. Dabei entstand ein intensiver ge-

gegenseitiger Austauschprozess, der in Deutschland eine ungewöhnliche Intensität entwickelt hat und die Basis für herausragende Leistungen im Flugzeugbau ist.

Diese Spitzenposition ist akut in Gefahr. Die seit der Jahrtausendwende auf politischen Druck hin internationalisierte Luftfahrtindustrie gestaltet die Allokation technologischer Fähigkeiten an räumlichen Standorten nicht mehr nach Gesichtspunkten des nationalen Fähigkeitserhalts, sondern nach rein industriellen Kriterien einer weltweit operierenden Organisation und folgt dabei der Logik wirtschaftlichen Handelns. Die Verteilung von Fähigkeiten wird damit einem industriellen Wettbewerb überlassen, dem sich Deutschland auf der Basis seiner ausgeprägten Stärken durchaus stellen könnte. Leider wird aber dieses Vertrauen in die Steuerungskräfte des Marktes von den wenigsten Nationen, die ihre strategischen Industrien in internationale Verbände eingebracht haben, geteilt – vielmehr greifen die anderen Nationen intensiv und effektiv in diesen Markt ein und verändern damit die Leistungs-Balance nachhaltig. In der europäischen Luftfahrtindustrie gibt es keine ausgeglichenen Wettbewerbsbedingungen („Level Playing Field“), wie es die Bundesregierung in ihrer Luftfahrtstrategie fordert, Adam Smiths „unsichtbare Hand“ des Marktes wird vielfältig national geführt.

Als Folge davon sind praktisch alle zentralen Verantwortlichkeiten für die Kernbereiche des Flugzeugbaus aus Deutschland abgezogen und in anderen Ländern allokiert worden – Lilienthals Flugmechanik beispielsweise wird in Deutschland nicht mehr industriell umgesetzt, Gleiches trifft auf viele andere Bereiche des Flugzeugbaus zu.

Nun wäre diese Entwicklung an sich nicht ‚per se‘ ein Grund für Besorgnis; ähnliche Vorgänge sind bereits in anderen Branchen erlebt worden, zudem scheint die Anzahl der Arbeitsplätze im Flugzeugbau in Deutschland bisher nicht abzunehmen.

Diese Momentaufnahme täuscht jedoch über die Gefahren der langfristigen und kontinuierlichen Entwicklung hinweg. Es sind vier wesentliche Punkte, die es zu berücksichtigen gilt:

1. Die deutsche Luftfahrtindustrie wird technologisch zunehmend in randständige Bereiche gedrängt, da die Kernfähigkeiten im

Flugzeugbau an anderer Stelle angesiedelt werden. Die in Deutschland verbleibenden Arbeitsanteile werden einer zunehmenden Konkurrenz durch aufstrebende Schwellenländer ausgesetzt sein, die so im Bereich der Kernfähigkeiten nicht möglich ist. Ohne aktive Positionierung der deutschen industriellen Basis ist daher langfristig mit einem erheblichen Verlust von Arbeitsplätzen zu rechnen.

2. Der Verlust der nationalen Führungsrolle in den Kernfähigkeiten des Flugzeugbaus wird den intensiven Austausch zwischen Wissenschaft und Industrie in diesen Bereichen zum Erliegen bringen. Es ist bereits sehr schwierig geworden, Professuren mit Expertinnen und Experten aus der nationalen Luftfahrtindustrie zu besetzen. Die Bereitschaft ausländischer Kandidatinnen und Kandidaten für akademische und wissenschaftliche Schlüsselpositionen in Deutschland ist so begrenzt, dass auch hier keine Lösungen zu erwarten sind. In der Folge werden sowohl die Qualität als auch der Umfang der Luftfahrttechnik-Forschung in Deutschland deutlich abnehmen.
3. Durch die Verschiebung von Verantwortlichkeiten für Flugzeugbaugruppen und Disziplinen in andere Länder laufen staatliche Investitionen in neue Technologien Gefahr, in kurzer Zeit wertlos zu werden. Sowohl den aufgebauten industriellen Kapazitäten als auch den parallel entstandenen Forschungsfähigkeiten an Universitäten und Forschungsinstitutionen wird damit die Grundlage entzogen. Der volkswirtschaftliche Schaden ist bereits beträchtlich.
4. Die nationale Zulieferindustrie ist im starken Maße im Bereich der KMUs zu finden, die zum einen die Herausforderung der Globalisierung zu meistern haben, sich aber zum anderen keine umfassende Systemkompetenz „leisten“ können, um auf diesem globalen Markt bestehen zu können. Gleichzeitig ist es diesen Unternehmen oftmals nicht möglich, die notwendigen Netzwerke aus Universitäten und der Wissenschaft koordinieren und bedienen zu können.

Die Bundesregierung hat im Jahr 2014 eine Luftfahrtstrategie⁴ vorgelegt, welche die strategische Rolle der Luftfahrtbranche für das

4 Link: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Technologie/luftfahrtstrategie-der-bundesregierung.html> (Stand: März 2014).

Industrieland Deutschland in technologischer und ökonomischer Hinsicht hervorhebt. In dem Strategiepapier wird die Gesamtsystemfähigkeit der deutschen Luftfahrtindustrie als ein zentraler Faktor für den langfristigen Erhalt eigenständiger Forschungs- und Entwicklungskompetenzen betont. Die Luftfahrtstrategie hat die Stärkung der Innovationskraft und der globalen Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Luftfahrtindustrie zum Ziel und konzentriert sich daher im Wesentlichen auf die industriellen Aspekte. Die Bedeutung der wissenschaftlichen Fähigkeiten im Zusammenspiel mit der Industrie wird dagegen nur am Rande angesprochen. Die Autoren dieses Papiers sehen hier einen kritischen Zustand erreicht.

4.3 Nutzung der Zukunftschancen

Wie sind nun die Auswirkungen der gezeigten Entwicklung zu bewerten?

Zunächst sei darauf hingewiesen, dass alle technologischen Neuerungen in der Luftfahrt nur in einer systemischen Betrachtung ihr volles Potenzial entfalten können – die intensive Verflechtung aller Fachdisziplinen zwingt immer zu einer Analyse im Gesamtkontext. Von besonderer Wichtigkeit sind dabei die Kernfähigkeiten des Flugzeugbaus, die die Schlüsselfaktoren der Systementwicklung bestimmen. In diesem Zusammenhang wird der Begriff der Systemfähigkeit angewandt, der die Fähigkeit zur Beurteilung, Umsetzung und Risiko-Beurteilung für neue Ansätze beinhaltet. Ein nationaler Wirtschaftsverbund, als Systemlieferant ebenso wie als Zulieferer, kann nur dann an den zukünftigen Entwicklungen teilhaben, wenn er hier leistungsfähige Strukturen aufgebaut hat. Genau hier tritt das zuvor beschriebene Problem offen zutage: Die internationalisierte Industrie hat einen erheblichen Teil dieser Kernfähigkeiten aus Deutschland heraus in andere Länder verschieben können und nimmt dem vormals außerordentlich wirksamen Dreiein aus industrieller Fähigkeit, wissenschaftlicher Stärke und nationaler Steuerung und Ausrichtung seine Kraft.

Vor diesem Hintergrund ist es zwingend erforderlich, diesen Entwicklungen aktiv entgegenzuwirken und Lösungen zu erarbeiten, die eine hohe Leistungsfähigkeit des nationalen Systems unter den aktuellen Veränderungen ermöglichen.

4.4 Steuerung nationaler Fähigkeiten in der Hochtechnologie

Wie bereits ausgeführt, können sich die reinen Marktkräfte in der internationalisierten Luftfahrt nicht frei entfalten. Die Luftfahrtstrategie der Bundesregierung spricht diese Problematik gezielt an (Auszüge):⁵

- „Die hohe Forschungs- und Entwicklungsintensität und die strategische Rolle der Luftfahrtindustrie für die Gesamtwirtschaft gehen mit besonderen Wettbewerbs- und Marktbedingungen einher.“
- „Wegen ihrer besonderen strategischen Bedeutung, aber auch aufgrund der spezifischen Wettbewerbsbedingungen ist die Branche auch heute noch weltweit durch einen starken staatlichen Einfluss geprägt.“
- „Vor diesem Hintergrund ist es ein langfristiges und grundsätzliches politisches Ziel, den staatlichen Einfluss in der Luftfahrtbranche weltweit zurückzudrängen. Dabei müssen jedoch international ausgeglichene Wettbewerbsbedingungen („Level Playing Field“) herrschen.“

Das Zurückdrängen staatlicher Einflussnahme und ausgeglichene Wettbewerbsbedingungen können, wenn überhaupt, nur sehr langfristig erreicht werden. Es setzt in Europa eine stark konsolidierte einheitliche Wirtschafts-, Finanz- und Verteidigungspolitik ohne Protektion nationaler Ressourcen voraus, was derzeit, gerade nach dem Entschluss von Großbritannien, die EU zu verlassen, nicht absehbar ist, keinesfalls jedoch kurz- oder mittelfristig erreicht werden kann.

Bis zu diesem bestenfalls weit in der Zukunft liegenden Zeitpunkt ist eine Überlebensstrategie für den deutschen Flugzeugbau und seine Forschung unverzichtbar und dringend erforderlich!

Die Steuerung der nationalen Fähigkeiten ist allerdings nicht einfach umzusetzen, da der Gesamtverbund aus Industrie, Forschung und Regierung (das „wirksame Dreibein“) folgenden Randbedingungen unterworfen ist:

5 Link: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Technologie/luftfahrtstrategie-der-bundesregierung.html> (Stand: März 2014).

- Das gezielte staatliche Handeln setzt die Fähigkeit voraus, spezifische Ziele mittel- und langfristig definieren, halten und ggf. auch anpassen zu können. Dazu ist jedoch ein intensiver Austausch mit der Schlüsselindustrie unabdingbar. Dieser ist jedoch infolge der Internationalisierung nicht mehr automatisch gegeben. Wichtig ist es nun, zusammen mit Führungskräften, Betriebsräten, aber auch Wissenschaftlern und Zulieferern Informationen zu technologischen Handlungsfeldern auszutauschen. Gleiches gilt auch für den aktuellen Sachstand der technologischen Allokation innerhalb internationalisierter Unternehmen. Die politisch Handelnden haben keinen zuverlässigen und zeitnahen Zugang zu den benötigten Informationen aus diesen Unternehmen. Aktuell sind sowohl klare inhaltliche Ziele als auch aktuelle Informationen aus der Schlüsselindustrie nicht ausreichend vorhanden. Die in anderen Ländern existente nationale Vernetzung von Schlüsselpersonen ist in Deutschland bisher nicht ausreichend gelungen und eine ausgeprägte Schwäche.
- Für den Fall, dass Zielvorstellungen und aktuelle Entwicklungen nicht vereinbar sind, wären gezielte Maßnahmen zur Korrektur der Entwicklung erforderlich. Hier sind Aktionen auf mehreren Ebenen wirksam zu koordinieren:
 - Einflussnahme auf die Forschung: Auf Bundesebene kann über das Luftfahrtforschungsprogramm („LuFo“) der Bundesregierung eine Steuerung erfolgen. Eine weitere Möglichkeit besteht über das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt, das als Einrichtung von Bund (90 Prozent) und Sitzländern (10 Prozent) ebenfalls gezielt Fähigkeiten aufbauen kann. Ansonsten ist die Unterstützung von Universitäten eine Angelegenheit der Länder, die in sehr unterschiedlichem Maße Einfluss auf die regionalen Fähigkeiten in der Luftfahrt nehmen. Aktuell hat nur das Bundesland Bayern eine veröffentlichte Luftfahrtstrategie vorgelegt.
 - Einflussnahme auf die Schlüsselindustrie: Die Möglichkeiten sind begrenzt auf die indirekte Steuerung über Anreize (z.B. Förderprogramme wie „LuFo“, Unterstützung beim Aufbau neuer Standorte etc.) oder die Nutzung der Einkaufsmacht bei großen Beschaffungsvorhaben der Bundeswehr.
 - In extremen Fällen kann der Staat auf der Basis von Gesetzen konkrete Schritte verbieten (z.B. die Fusion von Airbus Defence & Space

mit dem britischen Rüstungskonzern BAE). Dieses Werkzeug ist jedoch nur in Einzelfällen einsetzbar, für eine kontinuierliche Steuerung auch in Einzelthemen ist es nicht geeignet.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich Einwirkungsmechanismen auf die Wissenschaftslandschaft und auf die Industrie grundsätzlich stark unterscheiden, wobei zusätzlich noch die Möglichkeiten von Bund und Ländern unterschieden werden müssen. Sollen bestmögliche Wirkungen erzielt werden, ist eine Abstimmung aller Maßnahmen eine wichtige Voraussetzung für den Erfolg. Dafür fehlen aktuell jedoch noch wirksame Mechanismen.

5 Mögliche Maßnahmen und Handlungsoptionen

5.1 Ziele und Maßnahmen

Das in diesem Diskussionspapier definierte Kernziel ist der „Erhalt der Systemfähigkeit“ Flugzeugbau und seiner Forschung. Damit verbunden sind folgende übergeordnete Ziele:

- Erhalt der Systemfähigkeit im Flugzeugbau als wissenschaftlich und wirtschaftlich relevanter Bereich und als Schmelztiegel für die Entwicklung neuer Technologien für alle Branchen der Hochtechnologie
- Nutzung der Chancen, die sich aus den absehbaren radikalen Änderungen in der Luftfahrt ergeben. Anstreben einer Führungsposition in den neuen Technologiebereichen
- Schutz von langfristigen Investitionen in wissenschaftliche und industrielle Fähigkeiten
- Erhalt der Partnerschaftsfähigkeit in internationalen Luftfahrtprojekten mit staatlichen Auftraggebern
- Nutzung von Synergien aus aktuellen Trends anderer Branchen (z.B. Aufbau von Batterietechnologien durch die Automobilbranche – hier könnte sich wechselseitiger Nutzen ergeben)
- Erleichterung der wirtschaftlichen Umsetzung in Deutschland durch anerkannte wissenschaftliche Expertise sowie industrielle Anreize u.a. für Systemhersteller und Zulieferer
- Behauptung der wissenschaftlich-kulturellen Position einer Pioniernation der Luftfahrt

Wenn über die oben genannten Ziele Einigkeit besteht, und so interpretiert die Arbeitsgruppe die Luftfahrtstrategie der Bundesrepublik, stellt sich die Frage nach den erforderlichen Maßnahmen, die das Erreichen dieser Ziele ermöglichen.

Die Arbeitsgruppe hat dazu eine Reihe von Vorschlägen erarbeitet, die im Folgenden vorgestellt werden:

1. Ableitung von Detailzielen für die Sicherung der Systemfähigkeit aus Wissenschaft und Wirtschaft im Flugzeugbau
2. Etablierung von Mechanismen zur regelmäßigen Standortbestimmung in Forschung und Industrie
3. Enge und regelmäßige Abstimmung zwischen den betroffenen Ministerien in Bund und Ländern mit Luftfahrtstandorten
4. Schaffung von Anreizen zur Neuansiedlung von Luftfahrtunternehmen, sowohl im Bereich von Flugzeugherstellern als auch bei den Zulieferern
5. Begleitende Ausrichtung des Luftfahrtforschungsprogramms auf wissenschaftlich komplementäre Fähigkeiten
6. Schutz vorhandener Fähigkeitscluster, z.B. in Manching, Bremen, Hamburg, Donauwörth und Augsburg

Diese Vorschläge sollen nun näher erläutert werden.

5.2 Vorgeschlagene Maßnahmen

5.2.1 Ableitung von Detailzielen

Für die Operationalisierung einer Strategie ist die Ableitung von Detailzielen der entscheidende Schritt in die Umsetzung. Die übergeordnete Zielsetzung, die sich bietenden Chancen in der Luftfahrt im Verbund von Forschung und Industrie nutzen zu können, kann auf verschiedenen Wegen erreicht werden. Am Ende wird jedoch der entscheidende Punkt sein, ob es gelingt, eine ausreichend starke Wirtschaftskomponente in Deutschland in den kritischen Bereichen zu erhalten und ggf. in neuen Bereichen aufzubauen. Konkrete Ziele für die Einzelbereiche des Flugzeugbaus stehen in engem Zusammenhang mit der Art der Umsetzung, wie unter 5.2.4 beschrieben.

Es wird empfohlen, die Luftfahrtstrategie der Bundesregierung durch konkrete, messbare und gegebenenfalls an aktuelle Entwicklungen anpassbare Ziele zu erweitern. Zur Erarbeitung dieser Ziele wird eine Arbeitsgruppe aus Vertretern von Wissenschaft, nationaler Industrie und des Wirtschaftsministeriums empfohlen.

5.2.2 Systematische Informationsgewinnung

Die Erfassung der aktuellen Situation in der Wissenschaft, aber vor allem der in Deutschland angesiedelten Luftfahrt-Wirtschaft stellte sich während der Laufzeit der Erstellung des Diskussionspapiers als besonders schwierig heraus. Es fehlen Möglichkeiten, den handelnden Personen in der Regierung zeitnah essentielle Informationen zukommen zu lassen, die relevant für die Entwicklung der nationalen Fähigkeiten sind. Dabei sind diese Informationen durchaus vorhanden und müssten systematisch zusammengetragen, analysiert und bewertet werden. Als Werkzeug ließen sich u.a. auch Abstimmungsgruppen wie die bisherigen „Runden Tische“ einbeziehen und nutzen. Hierzu müssten diese jedoch verstetigt werden. Ziel der Informationsgewinnung könnte z.B. ein vierteljährlich erstellter aktueller Statusbericht zur kritischen wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Basis und Infrastruktur im Flugzeugbau in Deutschland sein. Dieser Statusbericht sollte die wesentlichen Maßnahmen und Erfolge zusammenfassen und (öffentlich) sichtbar machen. Als Basis für konkrete und abgestimmte Korrekturmaßnahmen ist eine solche Informationsquelle unverzichtbar.

Es wird daher empfohlen, einen entsprechenden Prozess zur regelmäßigen Erstellung eines Statusberichts zu implementieren.

5.2.3 Steuerungsgremien

Die Steuerung und Koordination von Luft- und Raumfahrtaktivitäten der Bundesregierung ist in Deutschland im Wirtschaftsministerium angesiedelt, doch weitere Ministerien wie Verkehr, Bildung und Forschung, Arbeit, Finanzen haben ebenfalls kritische Schnittstellen zu bedienen. Hier wäre die Reaktivierung des Staatssekretärs-Ausschusses zu empfehlen, der übergreifende Maßnahmen harmonisieren kann. Es wäre zu überlegen, inwieweit Vertreter aus Länderministerien von Bundesländern mit relevanter Luft- und Raumfahrtaktivität beigezogen werden können und sollten. Letztlich können nur auf diese Weise eine Abstimmung von Maßnahmen und die Entscheidung von Korrekturmaßnahmen mit maximaler Wirkung sichergestellt werden.

Es wird daher empfohlen, einen Staatssekretärs-Ausschuss für die Luft- und Raumfahrt wieder einzurichten.

5.2.4 Allokation von wissenschaftlich-wirtschaftlichen Strukturen

Dieser Punkt ist entscheidend für den Erhalt der wissenschaftlich-wirtschaftlichen Fähigkeit im Flugzeugbau in Deutschland. Es sind dabei industrielle Strukturen erforderlich, die eine kritische Mindestgröße und -fähigkeit im Bereich der zentralen Disziplinen des Flugzeugbaus erreichen. Dafür sind verschiedene Ansätze denkbar:

1. Allokation von Gesamt-Programmen (Beispiel: New Single Aisle) der internationalen Luftfahrtindustrie in Deutschland. Dies wäre der wirkungsvollste Schritt, stünde jedoch im Widerspruch zur Konzentration von Fähigkeiten in anderen Ländern und wäre daher für die Industrie nur über erhebliche Anreize vermittelbar.
2. Stützung vorhandener (Rest-) Fähigkeiten im Mittelstand. Nach der Aufgabe der Firma Dornier sind als nationale industrielle Fähigkeiten nur kleinere Unternehmen wie die Fa. Grob als Systemfirmen in Deutschland verblieben. Es wäre möglich, hier durch gezielte Maßnahmen für Wachstumschancen zu sorgen und so ein organisches Wachstum zu ermöglichen. Besonders die neuen Herausforderungen und Möglichkeiten radikaler Technologieoptionen könnten hier der Ausgangspunkt für neue wissenschaftliche und industrielle Strukturen sein. Die ausgezeichnete Forschungsinfrastruktur mit Fähigkeiten, Ressourcen und Großforschungsanlagen wäre auch geeignet, Ausgangspunkt für neue Aktivitäten von etablierten internationalen Unternehmen der Luftfahrtwirtschaft in Deutschland zu werden.
3. Stärkung der nationalen Zulieferindustrie durch eine gezielte Förderung und Implementierung der (Gesamt-) Systemfähigkeit im akademisch-wissenschaftlichen Umfeld. Die strukturelle Implementierung dieser systemischen Fähigkeit wird kleinere Unternehmen erst in die Lage versetzen, sich dauerhaft auf dem globalen Markt behaupten zu können.
4. Erhalt noch vorhandener Strukturen, hier vor allem in den Bereichen Hubschrauber und Militärische Luftfahrt. Die Mechanismen könnten denen unter Punkt 1 gleichen, nur wäre die Umsetzungsschwelle vergleichsweise niedriger. In beiden Bereichen hat Deutschland noch herausragende wissenschaftliche Kapazitäten, die ein steuern des Eingreifen rechtfertigen würden.

5.2.5 Begleitende Wissenschaftsunterstützung

Das Luftfahrtforschungsprogramm „LuFo“ der Bundesregierung enthält einige Elemente, die eine konsequente Ausrichtung wissenschaftlicher Themen auf industriell relevante Bereiche stützen. Es wird empfohlen, dieses Element beizubehalten und ggf. gezielt auszubauen. So könnte beispielsweise ein gezielter Personalaustausch zwischen Wissenschaftseinrichtungen und der Industrie (z.B. durch Etablierung gemeinsamer Doktorandenprogramme) langfristige Bindungen zwischen den Partnern in neuen Schlüsselbereichen aufbauen, wie dies in der Vergangenheit erfolgreich umgesetzt werden konnte. Wichtig ist in diesem Zusammenhang die Harmonisierung von Maßnahmen zwischen Bund und Ländern, da letztere die Verantwortung für die Gestaltung von Universitätsforschung haben. Impulse und Steuerungsmaßnahmen könnten auch aus dem Luftfahrtausrüsterprogramm kommen (zwar sehr viel kleiner als das „LuFo“, adressiert aber speziell Zulieferer, die hierdurch in Richtung Gesamtsystemfähigkeit gefördert werden könnten).

5.3 Zusammenfassende Bewertung

Die Luftfahrtforschung steht vor großen Herausforderungen, ausgelöst durch eine Änderung von bisher stabilen Randbedingungen infolge von Klimaschutzforderungen und gesetzlichen Vorgaben und neuen technologischen Optionen. Für die deutsche Forschungslandschaft bedeutet diese Herausforderung eine herausragende Chance, da in Deutschland entsprechende Themen stark forciert wurden und aus anderen Branchen wie dem Automobilbau analoge Aktivitäten zu beobachten sind, die eine Reihe von Synergien ermöglichen würden. Die Umsetzbarkeit der sich bietenden Chancen in Deutschland wird davon abhängen, ob es gelingt, in den Kernfähigkeiten des Flugzeugbaus ausreichende industrielle Strukturen zu erhalten und gegebenenfalls neu aufzubauen, um die Basis für eine nachhaltige Entwicklung neuer Technologien zu schaffen. Die dabei relevanten Prozesse sind sehr langfristiger Natur und bedürfen einer zielgerichteten Begleitung durch die Bundesregierung. Diese hat mit der Luftfahrtstrategie ein solides Fundament gelegt, das es nun mit detaillierten Zielen und Maßnahmen in die Umsetzung zu bringen gilt. Das vorliegende Papier macht entsprechende Vorschläge,

wie die Zukunftsfähigkeit des deutschen Flugzeugbaus sichergestellt werden kann. Selten waren die Randbedingungen so günstig für neue Strukturen, doch die Dringlichkeit für entschiedene Maßnahmen ist ebenfalls hoch. Die herausragende Rolle der Luftfahrttechnologie als wissenschaftlicher Schmelztiegel für viele Branchen der Hochtechnologie einschließlich des Fahrzeugbaus ist dabei ein starker Treiber für wirkungsvolle Maßnahmen.

6 Mitglieder der Arbeitsgruppe

Prof. Dr. Stefan Levedag ML	Technische Universität Braunschweig (Sprecher der Arbeitsgruppe)
Prof. Dr. Uwe Klingauf	Technische Universität Darmstadt, Institut für Flugsysteme und Regelungstechnik (Co-Sprecher der Arbeitsgruppe)
Prof. Dr. Mirko Hornung	Technische Universität München, Lehrstuhl für Luftfahrtsysteme
Prof. Dr. Jürgen Klenner	Ehemaliger Senior Vice President Structure & Flight Physics in der Airbus-Division der European Aeronautic Defence and Space Company (EADS), Universität Bremen
Prof. Dr. Ernst Messerschmid ML	Universität Stuttgart, Institut für Raumfahrtsysteme
Prof. Dr. Rolf Radespiel	Technische Universität Braunschweig, Institut für Strömungsmechanik

Die Arbeitsgruppe bedankt sich bei Herrn Prof. Dr. Sigmar Wittig, Mitglied des Präsidiums der Leopoldina, Mitglied der acatech und ehemaliger Vorstandsvorsitzender des DLR, für seine hervorragende Unterstützung bei fachlichen, organisatorischen und persönlichen Fragen über die lange Laufzeit des Projekts!

Herrn Prof. Dr. Jan Wörner, Mitglied der Leopoldina und acatech, Präsident der ESA, ehemaliger Vorstandsvorsitzender des DLR, danken wir für seine Unterstützung in Politik und Akademien.

Glossar

Additive Fertigungsverfahren

Auch als 3D-Druck bekannt. Werkstücke werden schichtweise aufgebaut, das Verfahren ähnelt der Funktion eines Tintenstrahldruckers, daher auch der Begriff „3D-Druck“.

Finite-Element-Methoden

Berechnung von Spannungen in einem Bauteil durch Diskretisierung und Lösung von Gleichungssystemen unter Berücksichtigung von Randbedingungen.

Computational Fluid Dynamics

Eine Finite-Elemente-Methode für Strömungen.

Concurrent Engineering

Durch Simulation oder vergleichbare Methoden werden frühe Technologieentscheidungen auf die Eigenschaften des fertigen Produkts abgebildet.

Control Configured Vehicle

Flugzeug, dessen Eigenschaften weitgehend durch Software in einer elektronischen Flugsteuerung eingestellt werden können. Erstes deutsches Exemplar war die F104-CCV der Fa. MBB, ein Technologieträger.

Bypass-Verhältnis

Kennwert eines modernen Turbo-Triebwerks für zivile Anwendungen. Es bezeichnet das Verhältnis der Volumenströme durch den Triebwerkskern im Verhältnis zu dem durch den Fan um das Kerntriebwerk herumgeleiteten Kaltgasstrom. Ein steigendes Bypass-Verhältnis fördert Standschub und Wirtschaftlichkeit, führt jedoch zu größeren Triebwerken, höherem Gewicht und geringeren Fluggeschwindigkeiten.

Getriebefan

Neueste Bauart von Turbo-Triebwerken für zivile Großflugzeuge bei denen der Fan über ein Getriebe von der Turbine angetrieben wird. Dadurch sind erhöhte Wirkungsgrade möglich, allerdings steigen Gewicht und Umsetzungs- sowie Wartungsaufwand an.

Inertialsensoren

Sensoren zur Messung der inertialen Bewegungen (Beschleunigungen und Drehraten).

Open Rotor

Neues Antriebskonzept mit schnell gegensinnig drehenden offenen Rotoren mit hohen Wirkungsgraden, aber hoher Komplexität.

Pilot-Induced-Oscillations

Schwingungen der Flugbewegung die durch dynamische Interaktion von Pilot und Flugzeug entstehen können und die eine Gefahr für die Flugsicherheit darstellen können.

Roll-Gier-Schwingung

Eine der klassischen Eigenformen der dynamischen Flugzeugbewegung.

Specific-Kategorie

Eine von drei neuen Kategorien für zukünftige Luftfahrzeuge, die anderen beiden Kategorien sind „Open“ für Kleinstgeräte mit CE-Zeichen (Spielzeuge) und „Certified“ für den Betrieb in gemeinsam mit klassischen Flugzeugen genutzten Lufträumen.

Abkürzungen

DFL	Deutsche Forschungsanstalt für Luftfahrt
DFVLR	Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt
DVL	Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt
BAE	British Aerospace
EASA	European Aviation Safety Agency, das europäische Pendant zum deutschen Luftfahrtbundesamt
ICAO	International Civil Aviation Organization
KMU	Klein- und mittelständige Unternehmen
UAV	„Unmanned aerial vehicle“ – unbemannte Luftfahrzeuge

Anhang

Luft- und Raumfahrt Forschung an Universitäten

- RWTH Aachen
- TU Berlin
- TU Braunschweig
- TU Darmstadt
- TU Dresden
- TU Hamburg-Harburg
- Karlsruher Institut für Technologie KIT
- TU München
- Universität der Bundeswehr München
- Universität Stuttgart

Luft- und Raumfahrt Forschung an Standorten des DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt)

- Braunschweig
- Göttingen
- Hamburg
- Köln
- Oberpfaffenhofen
- Stuttgart

Standorte Flugzeughersteller

- Airbus, Bremen
- Airbus, Hamburg
- Airbus, Stade
- Airbus Defence & Space, Manching
- Airbus Helicopters, Donauwörth

- Elbe Flugzeugwerke, Dresden
- Grob Aircraft, Mindelheim
- Stemme, Berlin
- Schempp-Hirth, Kirchheim unter Teck

Zulieferer

- Airbus Defence & Space, Immenstaad
- Airbus Defence & Space, Ulm
- Diehl Aircabin, Laupheim
- Diehl Aerosystems, Nord-Micro, Frankfurt am Main
- Diehl Aerosystems, Nürnberg
- Diehl Aerosystems Überlingen
- IABG, ESG, München
- Liebherr Aerospace, Lindenberg im Allgäu
- Northrop Grumman LITEF, Freiburg
- Premium AEROTEC, Nordenham
- Premium AEROTEC, MT Aerospace, Augsburg
- Rockwell Collins, Heidelberg
- Recaro Aircraft Seating, Kaiserslautern
- Wittenstein, Igersheim

Weitere Veröffentlichungen aus der Reihe „Leopoldina Diskussion“

Nr. 16: Der stumme Frühling – Zur Notwendigkeit eines umweltverträglichen Pflanzenschutzes – 2018

Nr. 15: Ärztliches Handeln – Erwartungen und Selbstverständnis – 2017

Nr. 14: Zukunftsfragen für die Forschung in der Kinder- und Jugendmedizin in Deutschland – 2017

Nr. 13: Ein Fortpflanzungsmedizingesetz für Deutschland – 2017

Nr. 12: Antibiotika-Forschung: 5 Jahre danach. Was hat sich getan, was bleibt zu tun? – 2017

Nr. 11: Nachhaltige Zeitenwende? Die Agenda 2030 als Herausforderung für Wissenschaft und Politik – Dokumentation des Leopoldina-Symposiums vom 18. Oktober 2016 in Berlin – 2017

Nr. 10: Ethische und rechtliche Beurteilung des genome editing in der Forschung an humanen Zellen – 2017

Nr. 9: Gutes Leben oder gute Gesellschaft? – 2017

Nr. 8: Tiefe Hirnstimulation in der Psychiatrie – Zur Weiterentwicklung einer neuen Therapie – 2017

Nr. 7: Zum Verhältnis von Medizin und Ökonomie im deutschen Gesundheitssystem – 8 Thesen zur Weiterentwicklung zum Wohle der Patienten und der Gesellschaft – 2016

Nr. 6: Sprache der Wissenschaft – Sprache der Politikberatung
Vermittlungsprozesse zwischen Wissenschaft und Politik – 2015

Nr. 5: Transplantationsmedizin und Organallokation in Deutschland:
Probleme und Perspektiven – 2015

Nr. 4: Freiheit und Verantwortung der Wissenschaft: Rechtfertigen die Erfolgchancen von Forschung ihre potentiellen Risiken?
Dokumentation des Symposiums der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina, der Deutschen Forschungsgemeinschaft und des Deutschen Ethikrates am 3. November 2014 in Halle (Saale) – 2015

Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e.V.
– Nationale Akademie der Wissenschaften –

Jägerberg 1
06108 Halle (Saale)
Tel.: (0345) 472 39-867
Fax: (0345) 472 39-919
E-Mail: politikberatung@leopoldina.org

Berliner Büro:
Reinhardtstraße 14
10117 Berlin

Die Leopoldina wurde 1652 gegründet und versammelt mit etwa 1500 Mitgliedern hervorragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus rund 30 Ländern. Sie ist der freien Wissenschaft zum Wohle der Menschen und der Gestaltung der Zukunft verpflichtet. Als Nationale Akademie Deutschlands vertritt die Leopoldina die deutsche Wissenschaft in internationalen Gremien und nimmt zu wissenschaftlichen Grundlagen politischer und gesellschaftlicher Fragen unabhängige Stellung. Hierzu erarbeitet sie unabhängige Expertisen von nationaler und internationaler Bedeutung. Die Leopoldina fördert die wissenschaftliche und öffentliche Diskussion, sie unterstützt wissenschaftlichen Nachwuchs, verleiht Auszeichnungen, führt Forschungsprojekte durch und setzt sich für die Wahrung der Menschenrechte verfolgter Wissenschaftler ein.

www.leopoldina.org