

Wettbewerbsfaktor

Luft- und Raumfahrt - zukunftsfähig mit Fraunhofer



Aktueller Stand

Die Luft- und Raumfahrt steht seit jeher für technologischen Fortschritt und Innovation. Sie ist geprägt von einem hohen Impact, den Forschung und Entwicklung in diesem Bereich erzielen, und nimmt eine Vorreiterrolle für andere Schlüsselbereiche wie Elektronik, Digitalisierung, Robotik, Künstliche Intelligenz oder Energie- und Werkstofftechnik ein. Die Luft- und Raumfahrt ist zentral für die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit, nationale Sicherheit und internationale Reputation. Sie sichert den Hochtechnologiestandort Deutschland und fördert die Kooperation mit unseren europäischen und globalen Bündnispartnern. Zur Sicherung der deutschen Zukunftsfähigkeit ist es daher essenziell, technologische Innovationen, Nachhaltigkeitslösungen und den Resilienzaufbau fortwährend zu stärken.

Beide Sektoren sind für die Innovationskraft in Deutschland entscheidend. Getrieben durch den rasanten Klimawandel, sind sie derzeit mit völlig neuen technischen Herausforderungen konfrontiert, die sowohl die Luft- als auch die Raumfahrt in den nächsten Jahrzehnten beschäftigen werden. Hierbei stehen u. a. die schnelle Entwicklung neuer, klimafreundlicherer Treibstoffe sowie von Effizienztechnologien, Leichtbaumaterialien und Erdbeobachtungstechnologien im Fokus. Weitere Herausforderungen umfassen die Verknappung verfügbarer Orbits durch zunehmende Raumfahrtaktivitäten in den erdnahen Orbits und das Risiko einer Zunahme von gefährlichem Weltraumschrott.

Die Luftfahrt ist der schnellste Verkehrsträger für Menschen und Güter über große Distanzen und wird bis 2050 voraussichtlich noch wichtiger, mit einer Verdopplung der Passagierzahlen im Vergleich zu 2020. Deutschland gehört zu den Innovationsführern in der Luftfahrt, die zur Exportwirtschaft beiträgt, zahlreiche Arbeitsplätze sichert und vor Herausforderungen wie Nachhaltigkeit und Klimaschutz steht. Der Fokus liegt auf Innovationen, um eine leistungsfähige und klimafreundliche Luftfahrt zu gewährleisten.

Die Raumfahrt ist heute entscheidend für nationale Sicherheitsinteressen und wirtschaftliche Aktivitäten, insbesondere in Bereichen wie Telekommunikation, Navigation und Erdbeobachtung. Über 80 Länder betreiben mehr als 10.000 Satelliten, und die Kommerzialisierung des Weltraums wächst rasant. Doch der Weltraum ist durch über 130 Millionen Schrott-Teilchen gefährdet, was nachhaltige Technologien und internationale Richtlinien erforderlich macht. Die Technologiekompetenz auf der Erde wird zunehmend von der Raumfahrt abhängen.

Unsere forschungspolitischen Empfehlungen

» Unsere Empfehlungen im Fokus:

- Luftfahrt:** Die Erforschung von Technologien für das klimafreundliche Fliegen, basierend auf Sustainable Aviation Fuels (SAF), Wasserstoff, Batterien und autonomen Luftfahrzeugen (Advanced Air Mobility), sowie die Entwicklung der hierfür erforderlichen Materialien und Fertigungsverfahren sind von zentraler Bedeutung für den Luftfahrtstandort Deutschland und sollten weiter intensiviert werden. Die Kreislaufwirtschaft wird für die nachhaltige Luftfahrt von morgen bedeutsam sein, sodass die Entwicklung der hierfür erforderlichen Verfahren und Methoden, die Schaffung entsprechender Regularien sowie die Etablierung der benötigten digitalen Infrastruktur beschleunigt werden sollten.
- Raumfahrt:** Raumfahrtinfrastrukturen – vom Bodensegment über Launcher bis hin zum Orbit – sind für das Funktionieren unserer Gesellschaft unverzichtbar und müssen vom Gesetzgeber als kritische Infrastruktur behandelt werden. Dafür bedarf es dringend nationaler Regularien und der Etablierung entsprechender gesetzlicher Rahmenbedingungen. Start-ups und KMU müssen umfangreicher in staatlich geförderte Raumfahrtaktivitäten, -projekte und -programme eingebunden werden, um das in Deutschland reichhaltig vorhandene Innovationspotenzial zu erhalten, zu steigern und auszuschöpfen.

» Im Fokus: Klimafreundliches Fliegen

Zwar trägt die Luftfahrt aktuell nur ca. 3 Prozent zum globalen CO₂-Ausstoß bei; jedoch erwartet die Luftfahrtindustrie einen weltweiten Anstieg des Luftverkehrs um durchschnittlich mehr als 3 Prozent pro Jahr. Unter der Annahme unveränderter Antriebstechnologien wird dies bis 2050 zu einer Verdoppelung der Emissionen im Vergleich zu

2019 führen. Während andere Branchen bereits dabei sind, ihren CO₂-Ausstoß deutlich zu verringern, und teilweise gar keine Emissionen mehr verursachen, stellt die Reduzierung der CO₂-Emissionen im Luftverkehr eine erhebliche Herausforderung dar.

Derzeit werden verschiedene Ansätze verfolgt, die darauf abzielen, das Fliegen klimafreundlicher zu gestalten. Ein zentraler Aspekt hierbei ist die Effizienzsteigerung bestehender Flugzeugkonzepte. So können durch die Optimierung von Design, Materialien und Fertigungstechnologien erhebliche Gewichts- und damit Kerosin- bzw. CO₂-Einsparungen realisiert werden. Schon eine Gewichtsreduzierung von 100 kg kann bis zu 12 t CO₂ pro Jahr und damit 3x mehr pro Flugzeug einsparen. Eine weitere Möglichkeit zur Verringerung des CO₂-Ausstoßes ist die Verbesserung der Aerodynamik, insbesondere im Flügelbereich. So reduzieren mittels Leichtbau realisierbare lang gestreckte, schlanke Flügel und strömungsoptimierte Oberflächen den Luftwiderstand und damit den Treibstoffverbrauch erheblich.

Auch effizientere Antriebe, die Kerosin oder künftig klimafreundlichere SAF nutzen, spielen eine wichtige Rolle, da sie die direkten CO₂-Emissionen verringern. Neue Antriebe, die auf Wasserstoff, Hybridtechnologie oder komplett emissionsfreie batterieelektrische Systeme setzen, versprechen noch geringere Auswirkungen auf das Klima.

Die europäische Luftfahrtindustrie sieht insbesondere Wasserstoff als Energieträger der Zukunft im Flugverkehr. Die Verwendung von Wasserstoff als Treibstoff erfordert jedoch völlig neue Flugzeugkonzepte, wobei der Wasserstoff im Flugzeug zur Erzielung einer möglichst hohen Energiedichte kryogen, also tiefkalt und flüssig, gespeichert werden müsste. Die für derartige Flugzeugtanks erforderlichen tieftemperaturtauglichen Materialien und serientauglichen Fertigungsverfahren müssen entwickelt und für den Flugbetrieb erprobt und zertifiziert werden. Ebenso sind wasserstoffspezifische Antriebskonzepte zu entwickeln, bei denen sowohl brennstoffzellenelektrische als auch verbrennungstechnische Ansätze verfolgt werden. Auch hier werden Materialien und serientaugliche Produktionsverfahren von höchster Bedeutung sein.

» Wir schlagen folgende konkrete Maßnahmen zur Förderung des nachhaltigen Fliegens in Deutschland vor:

- Förderung der Entwicklung neuer Flugzeugkonzepte und Technologien für das Fliegen mit Wasserstoff, z. B. durch einen weiteren Ausbau des Luftfahrtforschungsprogramms des BMWK;
- Förderung der luftfahrtspezifischen Batterieforschung für das komplett emissionsfreie batterieelektrische Fliegen der Zukunft, z. B. mittels einer neuen Programmlinie im Luftfahrtforschungsprogramm des BMWK;
- Förderung der Infrastruktur und Schaffung der politischen Rahmenbedingungen für die Versorgung der Luftfahrt mit SAF;
- Förderung der Infrastruktur und Schaffung der politischen Rahmenbedingungen für das Fliegen mit Wasserstoff;
- Schaffung von Anreizen zum Betrieb klimafreundlicher Flugzeugflotten mittels staatlicher Förderprogramme, um die neuen Flugzeugtechnologien schnell in den Markt zu bringen;
- Fortführung bzw. Neuauflage des branchenübergreifenden Technologietransferprogramms Leichtbau (TTP LB) des BMWK, um Leichtbau- und Effizienzerfolge aus anderen Branchen in die Luftfahrt zu transferieren und umgekehrt;

» Im Fokus: Effiziente Produktion und Digitalisierung – Enabler für die nachhaltige Luftfahrt von morgen

Die Luftfahrtbranche setzt zunehmend auf automatisierte und nachhaltige Produktionstechnologien, um sowohl Effizienz als auch Umweltverträglichkeit zu steigern. Ein zentrales Element dieser Transformation ist die Digitalisierung, die beispielsweise im vom BMWK geförderten Projekt »AEROSPACE-X« vorangetrieben wird. Dieses umfasst die Implementierung möglichst international standardisierter, fortschrittlicher digitaler Technologien, die sämtliche Prozesse in der Luftfahrtindustrie optimieren.

Ein wichtiger Aspekt der Digitalisierung in der Luftfahrt ist die Nutzung von Simulationen und digitalen Werkzeugen zur Verkürzung von Entwicklungszeiten und Beschleunigung von Zulassungsverfahren. Diese Maßnahmen zur Digitalisierung von Qualifikationsprozessen in der Luftfahrt sind in angepasster Form auch auf den Raumfahrtsektor anwendbar.

Ein weiteres zentrales Thema ist die Resilienz von Lieferketten, die aufgrund zunehmender weltweiter Krisen für den Standort Deutschland an Bedeutung gewinnt. Die Luftfahrtindustrie arbeitet mit Hochdruck daran, ihre Lieferketten durchgehend zu digitalisieren und damit effizienter und widerstandsfähiger gegen derartige Störungen zu machen.

Darüber hinaus gewinnt die Kreislaufwirtschaft im Kontext der Luftfahrtproduktion, die für den Standort Deutschland von hoher Bedeutung ist, zunehmend an Bedeutung. Durch die Wiederverwendung und das Recycling von Materialien können Ressourcen geschont und Abfälle reduziert werden, was zur Nachhaltigkeit der gesamten Branche beiträgt. Ferner müssen kritische Rohstoffe im Kreislauf gehalten werden, damit Deutschland unabhängiger vom Import knapper Ressourcen wird.

» Wir schlagen folgende konkrete Maßnahmen zur Etablierung einer nachhaltigen und digitalisierten Luftfahrt in Deutschland vor:

- Anpassung der gesetzlichen Rahmenbedingungen bei der Luftfahrtzulassung, um Zulassungsverfahren durch digitale Methoden und Simulationen zu verkürzen;
- Förderung internationaler Kooperationen zur Standardisierung digitaler Prozesse in der Luftfahrt, z. B. über entsprechende, mit Partnerländern abgestimmte Forschungsinitiativen des BMBF;
- Förderung der Erforschung und Entwicklung von Technologien zur Digitalisierung der Lieferketten in der Luftfahrt, um deren Resilienz zu erhöhen;
- Förderung der Erforschung klimaneutraler Produktions- und Fertigungsprozesse, z. B. mittels entsprechender BMBF-Forschungsprogramme;
- Schaffung von Anreizen durch staatliche Programme für Unternehmen, die in klimafreundliche und ressourcenschonende Produktionstechnologien für die Luftfahrt investieren;

» Im Fokus: Advanced Air Mobility

Advanced Air Mobility (AAM) umfasst innovative Luftfahrtsysteme und -technologien, die für eine neue Dimension im Flugverkehr stehen. Dazu gehören insbesondere elektrisch betriebene Drohnen und andere vertikale Start- und Landefahrzeuge (eVTOL), die für Passagier- und Frachttransport in urbanen und ländlichen Gebieten konzipiert sind. AAM zielt darauf ab, den Verkehr zu entlasten, die Effizienz zu steigern und nachhaltige Mobilitätslösungen und Services zu bieten. Die kontinuierliche Technologieentwicklung und zahlreiche Innovationen treiben die Branche stetig voran. Hierbei sind insbesondere das autonome Fliegen unter Nutzung von KI, Leichtbau, hochleistungsfähige Batteriesysteme und effiziente Antriebssysteme hervorzuheben. Diese Fortschritte eröffnen neben dem effizienten Personen- und

Frachttransport durch unbemannte Luftfahrzeuge auch die Möglichkeit neuer Services durch Drohnen. Beispiele sind Waldbrandfrüherkennung, umweltverträgliche und großräumige Überwachung kritischer Infrastruktur oder der umfangreiche Einsatz dieser Systeme bei Betrieb und Wartung von Offshore-Windparks.

Ein effektives Flugverkehrsmanagement und die nahtlose Integration dieser AAM-Technologien in den bestehenden Luftraum sind entscheidend, um einen sicheren und effizienten Flugbetrieb zu gewährleisten. Hierbei spielt auch die Infrastruktur (Landeplätze, Ladestationen und Wartungseinrichtungen) eine wesentliche Rolle.

» Wir schlagen folgende konkrete Maßnahmen zur Stärkung der AAM in Deutschland vor:

- Förderung der Erforschung und Entwicklung von Batterietechnologien als zentralem Enabler für die AAM, z. B. mittels entsprechender BMBF-Forschungsprogramme;
- Förderung der Erforschung von Technologien zur Effizienzsteigerung von AAM-Fluggeräten insbesondere im Bereich des Leichtbaus und der Antriebseffizienz, z. B. durch Fortführung des TTP LB;
- Förderung der Entwicklung eines umfassenden Autopilotensystems für das autonome Fliegen, das den kommenden Richtlinien der EASA für die drei Autonomiestufen entspricht, z. B. durch entsprechende BMDV-Forschungsprogramme;
- Erarbeitung einheitlicher behördlicher Vorschriften und Sicherheitsstandards für einen zuverlässigen und sicheren Betrieb von AAM-Fluggeräten;
- Bereitstellung von Fördermitteln zur Schaffung von AAM-Infrastrukturen (wie Landebahnen und -plätze sowie geeigneten Verkehrssicherungssysteme) für die Erforschung und den Betrieb von AAM-Lösungen;

Im Fokus: Raumfahrt und Nachhaltigkeit

Die Raumfahrt muss, unterstützt von der Bundesregierung, nachhaltige Lösungen entwickeln, um die Umweltverträglichkeit der Weltraumnutzung erheblich zu verbessern und gleichzeitig ihre Effizienz zu maximieren. Bei konsequenter Förderung und günstigen Rahmenbedingungen kann die Bundesrepublik hier eine wichtige Rolle spielen. Folgenden Technologiethemata, die dringend staatlich gefördert werden müssen, wird in diesem Kontext in den nächsten Jahren eine entscheidende Bedeutung zukommen:

Launcher

- Wiederverwendbare, sparsame und umweltfreundliche Raketen bzw. Raketenteile;
- Neue Treibstoffkonzepte (z. B. auf Basis von Paraffin und grünem Wasserstoff);

Upstream

- Verlängerung der Lebensdauer von Satelliten durch On-Orbit Servicing;
- Verlängerung der Lebensdauer von Kommunikationssatelliten durch Software Defined Radio;
- Space Traffic Management und Space Situational Awareness zur Vermeidung von Kollisionen und Kaskadeneffekten und damit letztlich auch zur Verlängerung der Lebensdauer von Satelliten und anderen Space Assets;
- Design for Demise zur Vermeidung von Kollateralschäden beim Wiedereintritt von Space Assets in die Erdatmosphäre;
- Untersuchung der Auswirkungen von Rückständen in höheren Atmosphärenschichten;
- Effizienzsteigerung durch die Digitalisierung von Produktionsketten und Zulassungsverfahren, z. B. durch Digitale Zwillinge und datengestützte Analysen;

Downstream

- Detektion von Waldbränden und anderen CO₂- sowie Methanquellen aus dem Orbit zur besseren Planung und Umsetzung von Gegenmaßnahmen;
- Effizienzsteigerung in der Landwirtschaft durch orbitgestützte Messungen von Bodenfeuchtigkeit, Pflanzenstress oder Schädlingsbefall, besonders bei sehr großen Flächen;
- Ersetzung ressourcenintensiver terrestrischer Kommunikationsinfrastruktur durch Kommunikationssatelliten;

Im Fokus: New Space

New Space ist ein wichtiger Trend in der internationalen Raumfahrt. Dazu besteht in Deutschland ein vielversprechendes Ökosystem aus etwa 125 Raumfahrt-Start-ups. New Space basiert u. a. auf technologischen Spillover-Effekten, für die ein innovatives Industrieland wie die Bundesrepublik die perfekten Voraussetzungen bietet: Deutschland verfügt sowohl über eine innovative Industrie, die für viele Branchen neue Technologien entwickelt und anwendet, als auch über einen innovativen Raumfahrtsektor inklusive einer aktiven Forschungs- und Entwicklungslandschaft. Vor diesem Hintergrund muss der Transfer von Technologien in raumfahrtferne Anwendungen und umgekehrt intensiviert werden. Beispiele für den Transfer in beide Richtungen gibt es in ausreichender Zahl, z. B. Precision Agriculture oder additive Fertigungsverfahren mit neuartigen Materialien. Eckpfeiler dieses Transferprozesses sollten Start-ups, der Einsatz von Commercial-Off-The-Shelf-Komponenten (COTS) und ein stärkerer Fokus auf Anwendungsfälle für Kleinsatelliten sein, insbesondere im Hinblick auf Kommunikation und Erdbeobachtung.

Wir schlagen folgende konkrete Maßnahmen zur Förderung von New Space in Deutschland vor:

- Förderung von Start-ups und innovativen Ansätzen durch Innovation Hubs, Inkubatoren und ähnliche Modelle unter Berücksichtigung des europäischen Kontexts;
- Förderung innovativer, schnellerer und schlanker Produktionsprozesse für Kleinsatelliten sowie der Digitalisierung von Testprozessen;
- Stärkung des Wettbewerbs innerhalb von institutionell geförderten Großprojekten wie IRIS2 (insbesondere unter Einbeziehung von New-Space-Akteuren) sowie auf europäischer Ebene;
- Übernahme der Rolle des Ankerkunden für Start-ups durch staatliche Institutionen;
- Sicherstellung eines nachhaltigen und günstigen Zugangs zum Orbit (insbesondere LEO und VLEO);

Im Fokus: Regulatorische Aspekte der Weltraumnutzung

Die rasanten Entwicklungen in der Weltraumbranche erfordern klare und zukunftsweisende regulatorische Rahmenbedingungen. Dazu ist ein Weltraumgesetz auf deutscher, europäischer und globaler Ebene notwendig, um die rechtlichen Aspekte für eine friedliche, ressourcenschonende und zukunftsfähige Weltraumnutzung zu schaffen. Die Regulierung der Anzahl, (Wieder-)Verwendung und End-of-Life-Strategien von Satelliten ist ein wichtiger Aspekt, um Weltraumschrott zu minimieren. Auch Space Traffic Management, die Überwachung der Weltraumlage sowie die Erkennung und Vermeidung von Kollisionen bedürfen eines regulatorischen Rahmens. Weitere wichtige Aspekte, auf die sich ein Weltraumgesetz positiv auswirken könnte, sind folgende:

- Internationale und nationale Regelungen zur Nutzung von Funkfrequenzen und Orbitpositionen zwecks Ressourcensicherung und Konfliktvermeidung;
- Standardisierte und robuste Datenmanagementprozesse für die Nutzung und Verarbeitung von Weltraumdaten;
- Schaffung von Datenplattformen für einen sicheren und effizienten Austausch von Weltraumdaten zur Förderung internationaler Kooperationen, um den wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Fortschritt zu gewährleisten;
- Implementierung robuster Cybersecurity-Strategien zum Schutz von Weltraumdaten und kritischen Systemen;
- Gewährleistung eines gerechten und transparenten Zugangs zu Forschungsvorhaben im Weltraum, um internationale Kooperationen zu fördern;
- Schaffung von Rechtssicherheit im Hinblick auf Risiken und Haftungsfragen bei Weltraumaktivitäten;

Als konkrete Maßnahme fordern wir daher die **Einführung eines Weltraumgesetzes** auf Bundesebene und das Hinwirken der Bundesregierung auf die Schaffung eines europäischen bzw. globalen Rechtsrahmens, stets unter Berücksichtigung der oben aufgezählten Aspekte.

Schnittstellen

	Innovative Gesundheitsforschung	Circular Economy	Zukunftsfähige Wasserversorgung	Energiesystem der Zukunft	Leistungsfähige und nachhaltige Mobilitätswirtschaft	Digitaler Industriestandort	Cybersicherheit	Quantentechnologien	Verteidigungsforschung in der Zeitenwende	Luft- und Raumfahrt	ZukunftsMissionBau. Sicher.nachhaltig.bezahlbar.
● Hauptbezug											
○ Nebenbezug											
Innovative Gesundheitsforschung	●					○					
Circular Economy		●	○	○	○	○				○	○
Zukunftsfähige Wasserversorgung		○	●			○					
Energiesystem der Zukunft		○		●	○	○				○	○
Leistungsfähige und nachhaltige Mobilitätswirtschaft		○		○	●	○				○	
Digitaler Industriestandort	○	○	○	○	○	●	○	○	○		○
Cybersicherheit						○	●	○			
Quantentechnologien						○	○	●			
Verteidigungsforschung in der Zeitenwende						○			●	○	
Luft- und Raumfahrt		○		○	○				○	●	
ZukunftsMissionBau. Sicher.nachhaltig.bezahlbar.		○		○		○					●

Über die Fraunhofer-Gesellschaft

Die Fraunhofer-Gesellschaft mit Sitz in Deutschland ist eine der führenden Organisationen für anwendungsorientierte Forschung. Im Innovationsprozess spielt sie eine zentrale Rolle – mit Forschungsschwerpunkten in zukunftsrelevanten Schlüsseltechnologien und dem Transfer von Forschungsergebnissen in die Industrie zur Stärkung unseres Wirtschaftsstandorts und zum Wohle unserer Gesellschaft.

Die 1949 gegründete Organisation betreibt in Deutschland derzeit 76 Institute und Forschungseinrichtungen. Die gegenwärtig knapp 32 000 Mitarbeitenden, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Finanzvolumen von 3,4 Mrd. €. Davon fallen 3,0 Mrd. € auf den Bereich Vertragsforschung.

Kontakt

Herausgeber

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V.
Im Auftrag des Vorstands
Hansastraße 27 c, 80686 München
<https://www.fraunhofer.de>

Ansprechperson

Elke Griesbach
Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft, Abteilung Wissenschaftspolitik
Telefon: +49 30 688 3759-1612
E-Mail: elke.griesbach@zv.fraunhofer.de

© Fraunhofer-Gesellschaft e. V., München 2024

Verzeichnis der Mitwirkenden

Dr. Andreas Battenberg

Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft

Dr. Nadya Ben Bekhti-Winkel

Fraunhofer INT / Fraunhofer AVIATION & SPACE

Elke Griesbach

Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft

Dr.-Ing. Simon Kothe

Fraunhofer IFAM / Fraunhofer AVIATION & SPACE

Prof. Dr. Dr. Lauster

Fraunhofer INT / Fraunhofer AVIATION & SPACE

Dr.-Ing. Kai Lindow

Fraunhofer IPK

Thomas Loosen

Fraunhofer INT / Fraunhofer AVIATION & SPACE

Henri Meeß

Fraunhofer IVI

Gerhard Pauly

Fraunhofer IFAM

Prof. Dr. Frank Schäfer

Fraunhofer EMI

Tim Strohbach

Fraunhofer IFAM

Rainer Wansch

Fraunhofer IIS