

2017

Jahrbuch Yearbook



Bauhaus Luftfahrt
Neue Wege.

Ilse Aigner

Bayerische Wirtschaftsministerin
Bavarian Minister of Economic Affairs



Sehr geehrte Damen und Herren

Die stetig steigende Nachfrage nach Mobilität und eine zunehmende internationale Vernetzung in der Wirtschaft stellen den Luftverkehr vor große Herausforderungen. Die Luftfahrt hat sich das ambitionierte Ziel gesetzt, diesen steigenden Bedarf mit einem signifikant verbesserten ökologischen Fußabdruck zu realisieren. Hierfür sind radikal neue technologische und ökonomische Konzepte erforderlich.

In Bayern sind mehr als 60.000 Personen in der Luft- und Raumfahrt beschäftigt. Sie erwirtschaften ein jährliches Umsatzvolumen von rund sieben Milliarden EUR. Von der Forschung über den Entwurf bis zum Produkt und dessen langfristige Betreuung werden alle Teilbereiche mit hoher Kompetenz abgedeckt.

Um die industrielle Basis Bayerns auch langfristig zukunftsicher zu machen, ist es notwendig, frühzeitig neue Technologien zu identifizieren und Potenziale nutzbar zu machen. Zusammen mit starken bayerischen Industriepartnern nimmt das Bauhaus Luftfahrt als Thinktank für die Luftfahrt diese Vorreiterrolle ein. Die Forschungseinrichtung agiert als Impulsgenerator für die Zukunft der Mobilität im Allgemeinen und die Entwicklung des Luftverkehrs im Besonderen. Ihre wissenschaftliche Exzellenz ist weit über die Grenzen des Freistaates hinaus bekannt und anerkannt.

Neue Themenfelder wie die Digitalisierung eröffnen vollständig neue Ansätze und Geschäftsfelder. Hier gilt es, aus der Vielzahl von neuen Technologien und Themen die relevanten und richtigen für den Luftfahrtbereich zu identifizieren und die zielgerichtete Weiterentwicklung voranzutreiben.

Das vorliegende Jahrbuch ermöglicht Ihnen, liebe Leserinnen und Leser, einen kleinen Einblick in neue Themengebiete, die langfristig die Luftfahrt nachhaltig verändern könnten. Ich lade Sie ein: Gönnen Sie sich mit dem Bauhaus Luftfahrt einen Ausblick in die Zukunft des Fliegens!

Ihre
Ilse Aigner, MdL
Bayerische Staatsministerin
für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie
und Stellvertretende Ministerpräsidentin

Dear Ladies and Gentlemen

The continuous increase in demand for mobility and the growing international economic network face the aviation industry with major challenges. Aviation has set itself ambitious targets for meeting the growing demand with a significantly improved ecological footprint. This requires radically new technological and business concepts.

More than 60,000 people are employed in the aerospace industry in Bavaria. They generate annual revenues of around 7 billion euros. From research and design towards the product and its long-term support, all areas are covered with a high level of competence.

In order to make Bavaria's industrial base future-proof in the long term, it is necessary to identify new technologies at an early stage and exploit their potentials. Together with strong Bavarian industrial partners, Bauhaus Luftfahrt takes this pioneering role as a think tank for aviation. The research institution acts as an impulse generator for the future of mobility in general and the development of air travel in particular. Its scientific excellence is known and recognised far beyond the borders of the Free State of Bavaria.

New topic areas, such as digitalisation, open up completely new approaches and business areas. From the multitude of new technologies and topics, it is important to identify the relevant concepts and business approaches for the aviation sector and to drive forward their further development.

This yearbook provides you, dear readers, with a brief insight into new topics that could change aviation in the long term. I am inviting you to join me: Take a look at the future of flying with Bauhaus Luftfahrt!

Yours
Ilse Aigner, MdL
Bavarian State Minister
of Economic Affairs and Media, Energy and Technology
Deputy Minister-President of Bavaria

Prof. Dr. Mirko Hornung

Vorstand Wissenschaft und Technik
Executive Director Research
and Technology

Insa Ottensmann

Vorstand Finanzen und Organisation
Executive Director Finance
and Organisation

**Sehr geehrte Damen und Herren**

Die häufigste Frage, die uns zur zukünftigen Entwicklung der Luftfahrt gestellt wird, lautet: Wie sieht das Flugzeug der Zukunft aus? Diese Frage steht für die Erwartung, dass neue Technologien, die ein Luftfahrzeug effizienter, ökonomischer und leiser machen, auch zu einem völlig anderen Aussehen führen. Neue Antriebstechnologien wie (hybrid-)elektrische Antriebe könnten tatsächlich dazu führen, dass sich das Flugzeug grundlegend verändert. In verschiedenen Forschungsprojekten bewerten wir gemeinsam mit Industrie- und Forschungspartnern konkrete Optionen, die langfristig Erfolg versprechend sein könnten.

In anderen Industriebereichen stellen wir immer häufiger fest, dass sich völlig neuartige Konzepte aus neuen Energieträgern, innovativen Geschäftsmodellen (z. B. der Sharing Economy) und auch der Digitalisierung entwickeln.

Im Bereich alternativer Energieträger fungiert das Bauhaus Luftfahrt als Koordinator zweier europäischer Forschungsvorhaben zu neuartigen Kraftstofftechnologien zur Produktion nachhaltiger Kraftstoffe für die Luftfahrt. Die Nutzung der solarthermischen Energie der Sonne auf der einen und der Prozess der hydrothermalen Verflüssigung auf der anderen Seite stellen vielversprechende Ansätze zur nachhaltigen Reduktion von CO₂-Emissionen dar.

Während Sharing-Geschäftsmodelle im Automobilbereich schon erfolgreich Einzug gehalten haben, gilt es auch in der Luftfahrt, die Potenziale dieser neuen Ansätze zu verstehen. Neben der Idee, Flugzeuge frei zwischen Fluggesellschaften auszutauschen, stehen auch innerstädtische Luftfahrtkonzepte mit kleineren, senkrechtstartfähigen Fluggeräten auf dem Prüfstand.

Damit liefert das Bauhaus Luftfahrt nicht nur Antworten auf die Frage nach dem möglichen Flugzeug der Zukunft, sondern auch danach, wie neue Konzepte erfolgreich umgesetzt werden können und inwiefern diese in der Lage sein werden, die Mobilität von morgen grundlegend zu verändern.

Das vorliegende Jahrbuch 2017 bietet ganz in diesem Sinne einen breit angelegten Überblick über viele weitere, interdisziplinäre Forschungsvorhaben des Bauhaus Luftfahrt. Wir wünschen Ihnen, liebe Leserin, lieber Leser, bei der Lektüre viel Spaß!

Ihre/Ihr
Insa Ottensmann / Prof. Dr. Mirko Hornung

Dear Ladies and Gentlemen

The most common question we are asked about the future development of aviation is: What will the aircraft of the future look like? This question stands for the expectation that new technologies, which make an aircraft more efficient, more economic, and less noisy, also lead to a completely different look. New propulsion technologies, such as (hybrid-)electric power systems, could actually cause the aircraft to change radically. In various research projects, together with industrial and research partners, we evaluate dedicated options that could be promising in the long term.

In other industries, we see more and more evidence that completely new concepts are being developed from new sources of energy, innovative business models (such as sharing economy), and digitalisation.

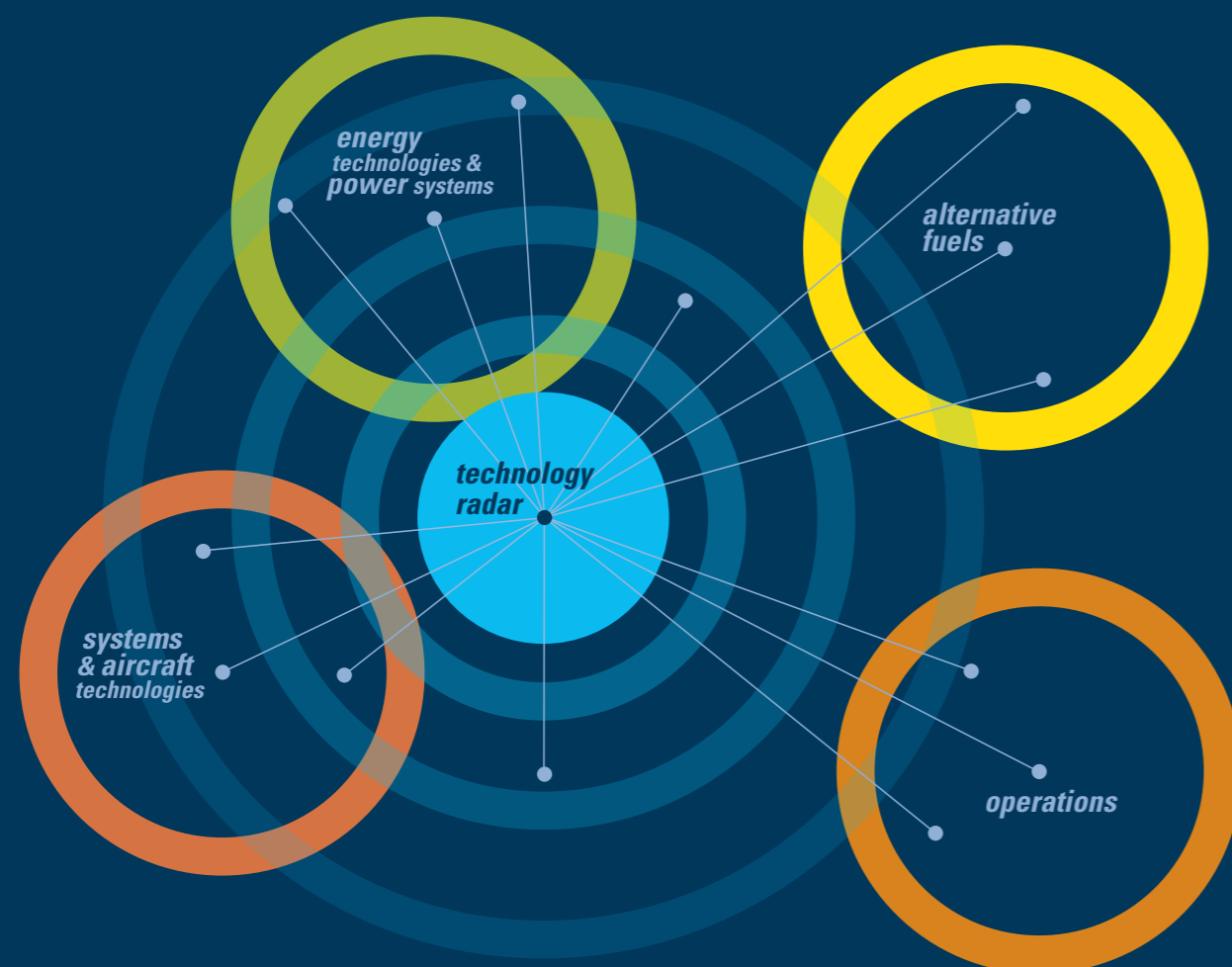
In the field of alternative energy sources, Bauhaus Luftfahrt is the coordinator of two European research projects on novel fuel technologies for the production of sustainable fuels for aviation. The use of solar thermal energy from the sun on the one hand and the process of hydrothermal liquefaction on the other hand are promising approaches for a sustainable reduction of CO₂ emissions.

While sharing business models have already successfully entered the automotive sector, aviation also needs to exploit the potentials of these new approaches. In addition to the idea of sharing aircraft freely between airlines, inner-city aviation concepts with smaller, vertical take-off and landing aircraft are also under close scrutiny.

Thus, Bauhaus Luftfahrt not only provides answers to the question of the possible aircraft of the future, but also how new concepts can be successfully implemented and to what extent they will be able to fundamentally change the mobility of tomorrow.

In this sense, the 2017 yearbook offers a broad overview of many other interdisciplinary research projects of Bauhaus Luftfahrt. We wish you, dear readers, insightful impulses; enjoy reading!

Yours
Insa Ottensmann / Prof. Dr. Mirko Hornung



editorial

Vorwort Bayerische Wirtschaftsministerin	04	<i>Foreword Bavarian Minister of Economic Affairs</i>
Vorwort Vorstände	06	<i>Foreword Executive Directors</i>
Highlights 2017	10	<i>Highlights 2017</i>
Mission	12	<i>Mission</i>
Zahlen & Fakten	56	<i>Facts & figures</i>
Impressum	68	<i>Imprint</i>

technology radar

Distributed Ledgers – disruptive Technologie nach dem Hype	16	<i>Distributed Ledgers – disruption beyond the hype</i>
Cyber-physische Systeme – zukunftsweisende Technologiesynergien	18	<i>Cyber-Physical Systems – future-oriented technological synergies</i>
Eine Datenlandkarte für die Prozessdatenanalyse	20	<i>A data map for process data analysis</i>

operations

Neue Transportkonzepte erfüllen veränderte Passagierbedürfnisse	24	<i>New transport concepts meet changing customer needs</i>
Systemdynamische Modellierung des Luftfahrtsystems	26	<i>System dynamic modelling of the aviation system</i>
On-Demand-, free-floating Sharing-Modell für Fluggesellschaften	28	<i>On-demand, free-floating sharing model for airlines</i>
Welchen Beitrag kann die Luftfahrt zur Mobilität in Städten leisten?	30	<i>What contribution can aviation make to urban mobility?</i>

alternative fuels

Wasser- und Landbedarf solarthermochemischer Kraftstoffe	34	<i>Water footprint and land requirements of solar thermochemical fuels</i>
Hydrothermale Verflüssigung: neue Kraftstoffe aus biogenen Quellen	36	<i>Hydrothermal liquefaction: new fuels from biogenic sources</i>
Biomasseerträge von Mikroalgen in industrieller Kultivierung	38	<i>Biomass yields of microalgae in industrial cultivation</i>
CO ₂ als Rohstoff für die erneuerbare Kraftstoffproduktion	40	<i>CO₂ as feedstock for the production of renewable fuels</i>

energy technologies & power systems

Thermoelektrische Abwärmenutzung am Flugtriebwerk	44	<i>Thermoelectric waste heat harvesting in aero engines</i>
Hybrider Fanantrieb – Abschluss einer Konzeptstudie	46	<i>Hybrid power fan drive – results of a conceptual study</i>
„Composite Cycle Engine“-Konzeptualisierung und -Potenzial	48	<i>Composite Cycle Engine conceptualisation and performance potential</i>

systems & aircraft technologies

Luftfahrtwissensmanagement für Industrie 4.0	52	<i>Aviation knowledge management for Industry 4.0</i>
Turboelektrische Antriebsintegration mit „Wake Filling“	54	<i>Turboelectric fuselage wake-filling propulsion integration</i>

Aviation 5.0

Mobility in a Virtual Future



3rd Bauhaus Luftfahrt Symposium

„Mobilität in einer virtuellen Zukunft“ war Thema eines hochkarätig besetzten Symposiums des Bauhaus Luftfahrt auf dem Ludwig Bölkow Campus bei München. Datengesteuerte Prozesse sowie kundenspezifische Dienstleistungen und Produkte stehen immer mehr im Fokus neuartiger Geschäftskonzepte. Welchen Einfluss nehmen diese Entwicklungen auf das Luftverkehrssystem? Gemeinsam mit 180 kompetenten Wissenschaftlern und Experten aus 20 Ländern erörterte das Bauhaus Luftfahrt anderthalb Tage lang die entscheidenden Wegbereiter und Treiber sowie Potenziale der Luftfahrt 5.0. Den zahlreichen Fachvorträgen und Diskussionsrunden entsprang dabei ein intensiver Austausch zwischen Wissenschaft, Industrie und Politik.

Fortschritte in Datenanalyse und -management sowie Potenziale von datengesteuerten Geschäftsmodellen und Prozessen standen im Mittelpunkt der Plenarsitzung am ersten Veranstaltungstag. Vordenker und Fachleute gaben Einblick in ihre neuesten Erkenntnisse und Ideen, wie sich eine verbesserte Nutzung von Daten auf das Luftfahrtgeschäft auf lange Sicht auswirken kann.

Am zweiten Veranstaltungstag wurde eine Vielzahl von Technologien und Konzepten in zwei parallelen Sitzungsreihen diskutiert.

“Mobility in a Virtual Future” was the subject of a high-quality symposium held by Bauhaus Luftfahrt on the Ludwig Bölkow Campus near Munich. Data-driven processes, customer-tailored services and products are getting more and more in the focus of novel business concepts. How will these developments find their way into the air transport system? Together with 180 national and international scientists and industrial experts from 20 countries, Bauhaus Luftfahrt addressed and discussed key enablers and potentials of the envisaged developments and innovations forming a possible Aviation 5.0. Thereby, an intense dialogue between science, industry, and politics arose from the numerous presentations and discussions.

Progress in data sciences and the potentials of data-driven businesses and processes were at the core of the Plenary Session on day 1 of the event. Innovators and experts provided insights in their latest findings and ideas, how an enhanced use of data may have an impact on the aviation business in the long run.

On day 2, a multitude of technologies and concepts were presented in two parallel session streams.



In vier Fachsitzungen teilten 20 Referenten ihre Expertisen zu Top-Trends und Schlüsselentwicklungen.

Organised in four topical sessions, invited speakers shared their expertise and insights in key technologies and developments.



Über das Bauhaus Luftfahrt

Was treibt die Mobilität von morgen? Welche alternativen Energieoptionen werden langfristig für die Luftfahrt zur Verfügung stehen? Welche Antriebs- und Systemtechnologien werden die Effizienz zukünftiger Flugzeugentwürfe weiter verbessern, und werden diese zu vollständig neuen Designs führen? Welchen Einfluss werden Informationstechnologien auf zukünftige Produkte und deren Entwicklungsprozesse haben? Entlang dieser und weiterer Fragestellungen analysiert das Bauhaus Luftfahrt als Forschungseinrichtung wesentliche Treiber, neue technologische Ansätze sowie innovative Ideen und integriert diese in ganzheitliche Lösungen für die Luftfahrt.

Seit mehr als zehn Jahren betrachtet das Bauhaus Luftfahrt im Sinne eines Thinktanks Themen aus sehr unterschiedlichen Blickwinkeln: Die 39 Wissenschaftler mit fachlicher Expertise aus Sozialwissenschaft und Ökonomie, Natur- und Ingenieurwissenschaft sowie Informatik identifizieren und bewerten erfolgversprechende Ansätze und entwickeln diese, häufig in Zusammenarbeit mit nationalen und internationalen Partnern, als Grundlage für neue Produktideen und -konzepte weiter. Damit nimmt das Bauhaus Luftfahrt eine wichtige Vorreiterrolle ein – als Ideenschmiede, Forschungseinrichtung und Impulsgeber für Fachwelt, Öffentlichkeit und Politik.

Die Luftverkehrsflotte wird sich allen Prognosen nach bis 2050 verdreifachen. Die Ziele 75 % weniger CO₂-Ausstoß, deutlich geringere NO_x- und Lärmemissionen gegenüber dem Jahr 2000 sind im Flightpath 2050 formu-

liert. Aus dem Luftverkehrswachstum, den Flightpath-2050-Zielen und den langen Produktlebenszyklen von Flugzeugen von bis zu 60 Jahren leitet das Bauhaus Luftfahrt seinen Auftrag ab, über die Grenzen herkömmlicher Technologien und Materialien weit hinauszublicken und neue Aspekte zu betrachten. Dabei sollen und können keine Voraussagen getroffen werden, welches das nächste Produkt sein wird. Die Wissenschaftler erforschen vielmehr neue Technologien und Materialien, zeigen deren Relevanz für zukünftige Entwicklungen und schaffen ein Bewusstsein, worin die Potenziale für die Luftfahrt liegen. Die so gewonnenen Erkenntnisse liefern zahlreiche Denk- und Diskussionsanstöße – und das außerhalb der vorhandenen konventionellen Forschungs- und Entwicklungslandschaft. Die Herangehensweise, zunächst eine Idee in einem interdisziplinären kreativen Prozess entstehen zu lassen und diese anschließend auf ihre Anwendbarkeit wissenschaftlich zu überprüfen, macht das Bauhaus Luftfahrt als Forschungseinrichtung einzigartig in Deutschland und Europa.

Gegründet wurde der Bauhaus Luftfahrt e. V. im November 2005 von den drei Luft- und Raumfahrtunternehmen Airbus, Liebherr-Aerospace und MTU Aero Engines sowie dem Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie. Namensgebend war das Staatliche Bauhaus, die fachübergreifende Kunst-, Design- und Architekturschule von Walter Gropius im Weimar und Dessau der 1920er-Jahre. Seit 2012 ergänzt die IABG Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft den Kreis namhafter Industriepartner. Das Bauhaus Luftfahrt ist seit 2015 auf dem Ludwig Bölkow Campus in Taufkirchen bei München angesiedelt, dessen Gründungspartner es ist.

About Bauhaus Luftfahrt

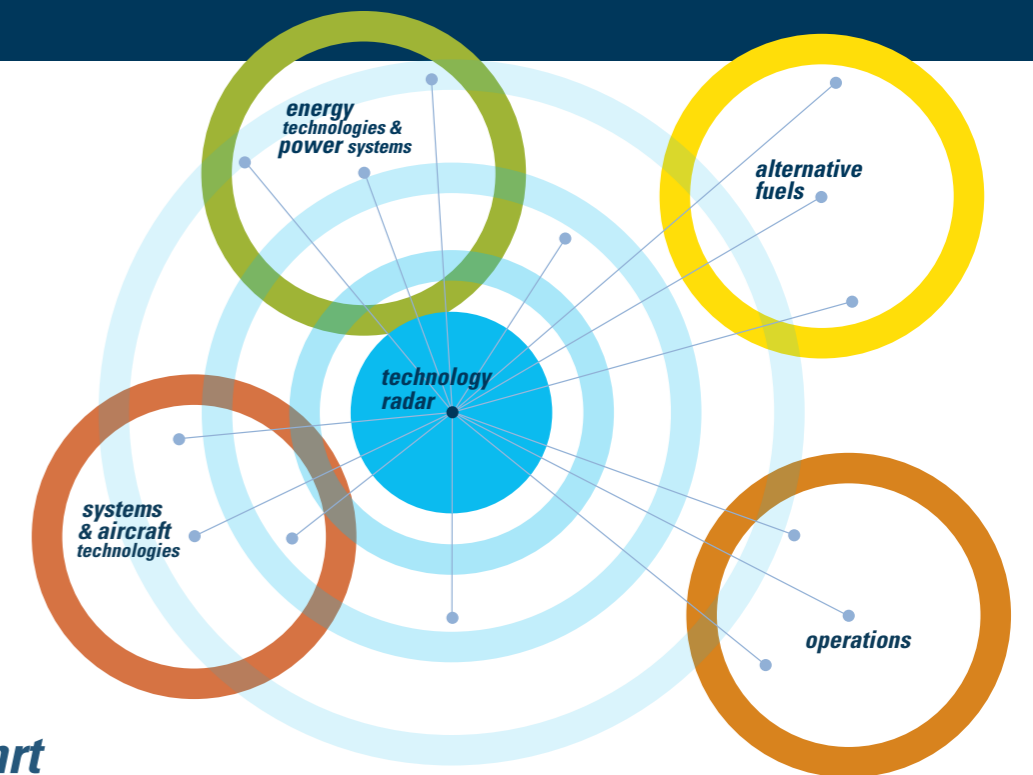
What drives the mobility of tomorrow? What alternative energy options will be available for aviation in the long term? Which power and system technologies will further improve the efficiency of future aircraft concepts, and will these lead to completely new designs? What impact will information technologies have on future products and their development processes? In light of these and other questions, as a research institution, Bauhaus Luftfahrt analyses major driving forces, new technological approaches, and innovative ideas and integrates them into holistic solutions for aviation.

For more than a decade, Bauhaus Luftfahrt is studying topics from very different perspectives in the sense of a think tank: The 39 scientists with professional expertise in their field areas of social sciences and economics, nature and engineering sciences as well as informatics identify and assess promising approaches and develop them, frequently in collaboration with national and international partners, as a basis for new product ideas and concepts. Bauhaus Luftfahrt is thereby playing a key pioneering role – as a think tank, a research institution, and an impulse generator for experts, the public, and politicians.

According to all forecasts, the civil aviation fleet will triple by 2050. The goals of 75 % less CO₂ emissions, considerably reduced NO_x emissions and noise compared to 2000 are expressed in Flightpath 2050. From the growth in air traffic, the Flightpath 2050 goals, and the long product life cycles of aircraft of up to 60 years,

Bauhaus Luftfahrt derives its task of going far beyond the boundaries of conventional technologies and materials and of studying new aspects. Here, no predictions can or should be made on what the next product will be. Instead, scientists are searching for new technologies and materials, showing their relevance for future developments, and raising awareness of wherein the potential for aviation lies. The knowledge gained in this way offers numerous incentives to think differently and participate in discussions – and all of that is outside the existing conventional research and development landscape. The approach, to first let an idea arise in an interdisciplinary creative process and then check it in a scientifically sound manner for its applicability, makes Bauhaus Luftfahrt unique as a research institution in Germany and Europe.

Bauhaus Luftfahrt e. V. was founded in November 2005 by the three aerospace companies Airbus, Liebherr-Aerospace and MTU Aero Engines as well as the Bavarian State Ministry for Economic Affairs and Media, Energy and Technology. The source of the name was Staatliches Bauhaus, the interdisciplinary art, design, and architecture school by Walter Gropius in the Weimar and Dessau of the 1920s. Since 2012, IABG Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft has rounded out the circle of renowned industrial partners. Since 2015, Bauhaus Luftfahrt has been based on Ludwig Bölkow Campus in Taufkirchen near Munich, whose founding partner it is.





Model of Distributed Ledgers

Cyber-Physical Systems

Data map

Schlüssige Luftfahrtkonzepte von morgen basieren auf dem Verständnis zukünftiger Technologieoptionen und deren physikalischer Leitplanken. Zur Früherkennung designtreibender Entwicklungen hat das Bauhaus Luftfahrt das „Technologieradar“ etabliert, das die Domänen Energie, Materialien, Photonik, Sensorik und Information umfasst. Der verfolgte Ansatz zur Zukunftstechnologieanalyse und Bewertung von Innovationspotenzialen stützt sich auf eine interdisziplinäre Kultur und eine eigens entwickelte Methodik. Diese beruht auf der Bestimmung universeller Metriken und physikalischer Grenzwerte sowie einer Analyse des Skalierungsverhaltens und disruptiven Potenzials neuer Technologien. Als Leitlinie für die zukünftige Entwicklung stimmiger Gesamtkonzepte werden Leistungspotenziale im Luftfahrtkontext auf unterschiedlichen Komplexitätsebenen untersucht, von Komponenten über Baugruppen bis hin zu integrierten Systemen.

Prospective concepts for aeronautics are based on the understanding of future technology options and their physical boundaries. For early identification of design-driving developments, Bauhaus Luftfahrt has established the “Technology Radar”, which includes the domains of energy, materials, photonics, sensors, and information. The pursued approach to future technology analysis and assessment of innovation potentials rests upon an interdisciplinary culture and on a specially developed methodology. This relies on the derivation of universal metrics and physical benchmarks as well as on an analysis of the scaling behaviour and disruptive potential of novel technologies. As guidance to the

future development of sound overall concepts, performance potentials are determined in the aeronautical context at various levels of complexity, from components, devices to integrated systems.



technology radar

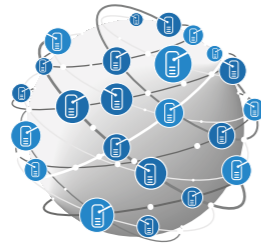
► Distributed Ledgers – disruptive Technologie nach dem Hype

Bitcoin, Blockchain, Smart Contracts, Hashgraphs ... Distributed-Ledger-Technologien (DLTs) sind aus der technologischen Trenddiskussion nicht mehr wegzudenken. Handelt es sich um einen nächsten technologiegetriebenen Hype oder gibt es ein verifizierbares Potenzial, das Teile der gewachsenen Geschäftsprozesswelt in den nächsten Jahren herausfordern wird?

DLTs sind sich stetig weiterentwickelnde Informationstechnologien, um eine geteilte, dezentrale und auditierbare Datenschicht in verschiedensten Anwendungsszenarien zu ermöglichen. Grundlegendes Ziel ist hier die Schaffung einer dezentralen, konsensbasierten Vertrauensbasis, die nicht manipulierbar und zugleich für alle Beteiligten transparent ist sowie Informationsasymmetrien und Übervorteilungen umgeht. Aktuelle Einsatzszenarien sind Zertifizierungen in Supply Chains, Handelstransaktionen ohne Mittelsmann oder neue Rechte- und Distributionsmodelle für digitale Artefakte.

Auch die Luftfahrt geht gerade im Rahmen von Digitalisierung und digitaler Transformation neue Wege. Dabei spielt im Umgang mit Daten die Frage nach deren Provenienz, deren Weiterverwendung und -verwertung, nach Rechten an Daten sowie deren Schutz eine zentrale Rolle. Das Bauhaus Luftfahrt erforscht Anwendungspotenziale von DLTs oder zu entwickelnden Erweiterungen exemplarisch in den Bereichen Entwicklung und Produktion, Dienstleistungen und datengetriebener Geschäftsmodelle im Lufttransport.

Hier zeigen DLTs ihre Stärke als eine Lösung zur Umsetzung digitaler Geschäftsprozesse mit dem Fokus auf Transparenz, Informationssicherheit und Skalierbarkeit. Für seine Partner analysiert das Bauhaus Luftfahrt das langfristige Potenzial dieser Technologien im Kontext aktueller Forschung zur digitalen Transformation.



Herzstück disruptiver Anwendungen von DLTs ist das verteilte Konsensmodell.

The distributed consensus model of DLTs is at the core of possibly disruptive applications.

Distributed Ledgers – disruption beyond the hype

Bitcoin, Blockchain, Smart Contracts, Hashgraphs ... Distributed Ledger Technologies (DLTs) are an integral ingredient in any top ten on current technology trends. Are DLTs only the catalyst for the next technology-driven hype bubble, or can Bauhaus Luftfahrt provide a solid proof of their potential to challenge a good deal of established (digital) business processes?

DLTs are a clever combination of existing, refined information technologies; these are jointly applied to establish a shared, decentral and auditable data layer in diverse application scenarios. This layer aims to establish a notion of direct trust on a decentralised, consensus-based foundation, which cannot be manipulated and is transparent to all participants. Thus, both information asymmetries and fraud shall be avoided. Current application scenarios are certification in supply chains, business transactions without intermediary, or new ways to distribute and share (the rights to) digital artefacts.

Similarly, aviation in general is breaking new ground in the context of digitalisation and digital transformation. While handling and sharing data, questions regarding their provenance, their subsequent application and exploitation, rights to data and data privacy play a crucial role. Bauhaus Luftfahrt explores the application potential of existing and next generation DLTs in aviation, for example in engineering, production, and data-driven business models.

Here, DLTs demonstrate their strength by implementing disruptive digital business processes with a strong focus on transparency, security, and scalability. Bauhaus Luftfahrt analyses the long-term potential of these technologies for its partners as part of its current research on digital transformation in aviation.

► Stark vereinfachte Darstellung einer Blockchain

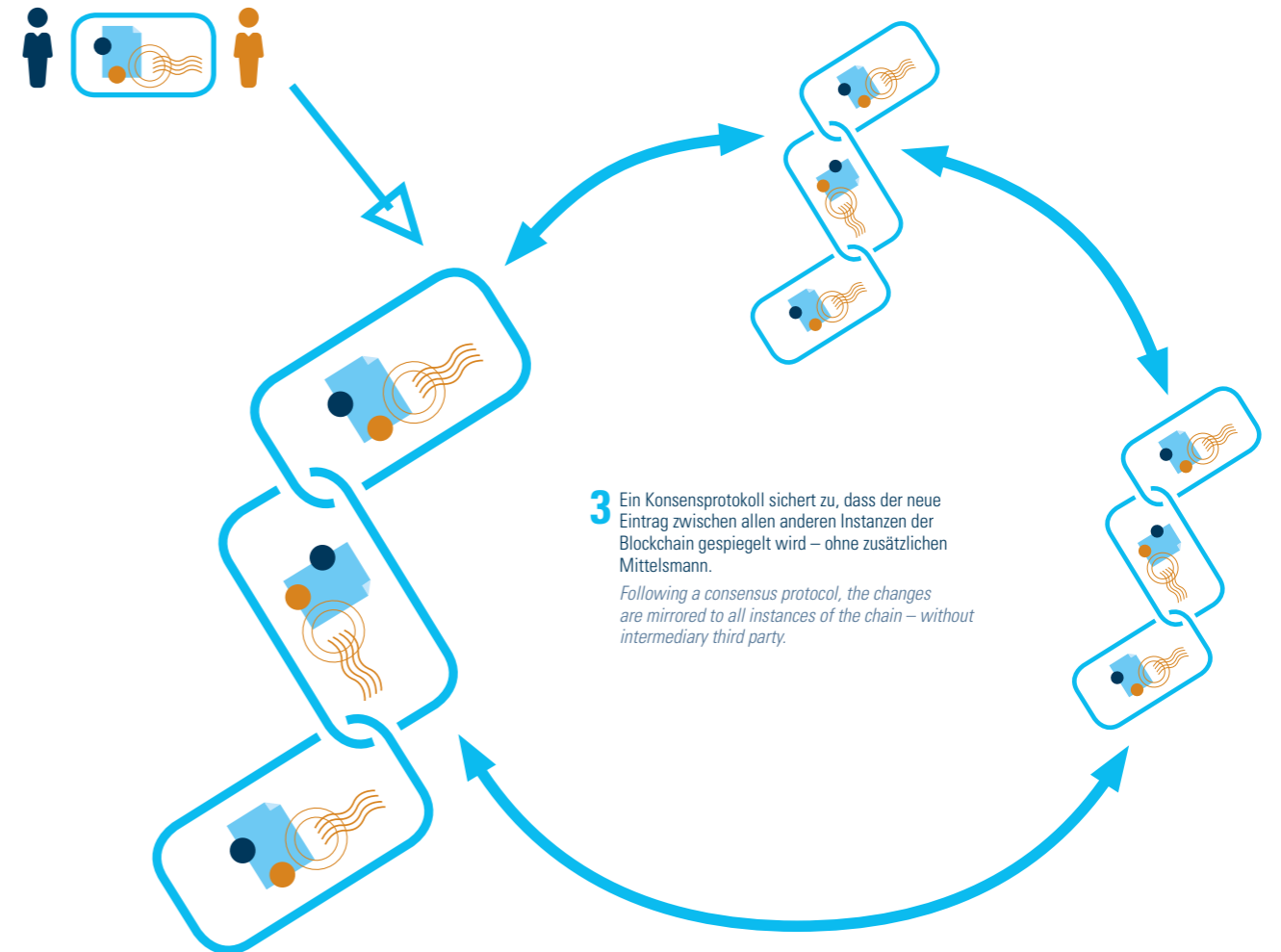
Eine Blockchain kann als verteilte, dezentrale Datenbank aufgefasst werden, in der ein Konsensprotokoll sicherstellt, dass der Inhalt, d. h. die Kette an Blöcken, bei allen Teilnehmern gespiegelt vorliegt. Der zusätzliche Einsatz kryptografischer Verfahren sichert zu, dass weder Einträge in einem Block noch die Kette an Blöcken selbst verändert werden können. Dies kann transparent von jedem Teilnehmer jederzeit selbst überprüft werden und schafft so Vertrauen in die geteilten Daten. Statt einfacher Transaktionsdaten können auch komplexe Abläufe in Form von Smart Contracts abgelegt werden. Somit erweitern sich die möglichen Anwendungsszenarien über „Kassenbücher“ (ledgers) hinaus zu automatisierten, verteilten Geschäftsprozessen mit mehreren Teilnehmern.

Simplified sketch of a Blockchain

A Blockchain can be regarded as a distributed, decentralised database, which assures with the help of an additional consensus protocol that all the chained blocks are mirrored. Additionally, cryptographic technologies assure that neither the transactions in a block, nor the already chained blocks can be changed. Thus, all participating parties can audit the chains' integrity in a transparent way and, hence, establish a layer of trust. In addition to simple transaction data, blocks can store complex conditional sequences in the form of (Smart) Contracts. This extends the application area from ledgers to distributed, automatic, collaborative business processes.

1 Transaktionen zwischen Beteiligten werden zu einem Block zusammengefügt und mit einem digitalen Stempel versehen.
A set of agreed upon transactions between parties are put into a block and "digitally stamped".

2 Der Block wird ans Ende einer Instanz der Blockchain angehängt und kryptografisch so verankert, dass die Integrität der gesamten Kette und ihres Inhaltes überprüfbar ist.
This block is chained to the end of an instance of the blockchain. Chaining adds a cryptographic proof of the integrity of the whole chain and its content.



Cyber-physische Systeme – zukunftsweisende Technologie-synergien

Ein Cyber-physisches System (CPS) nutzt verschiedenste Sensordaten, integrierte Intelligenz und ein Kommunikationsnetzwerk, etwa um den Gesundheitszustand kritischer Komponenten oder Systeme einer Flugzeugflotte vorherzusagen und notwendige Maßnahmen zur Wartung frühzeitig einzuleiten. Der Kernfrage, für welche Geschäftsprobleme Kosteneinsparpotenzial gegenüber herkömmlichen Wartungsstrategien besteht, ist das Bauhaus Luftfahrt im Rahmen der Zukunftstechnologieanalyse nachgegangen.

Ein CPS kann bisherige Unsicherheiten in der Versagensvorhersage signifikant verringern, indem es mithilfe maschinellen Lernens und Big Data Analytics komplexe, physikalisch schwer erfassbare Korrelationen in flottenweiten Daten aufdeckt, z. B. zwischen Betriebsumgebung oder erfolgter Reparatur und Degradierungsrate. Kommen jedoch im Vergleich zu korrekt prognostiziertem Wartungsbedarf übersehene Schäden oder Fehlalarme zu häufig vor, können Folgekosten etwa durch Kaskadeneffekte oder unnötigen Inspektionsaufwand die Vorteile aufheben, genauso wie zu hohe CPS-Kosten. Welche Vorhersagequalität für einen Nettounutzen erreicht werden muss, hängt stark von der Anwendung ab und wurde vom Bauhaus Luftfahrt allgemein aus einer Kosten-Nutzen-Analyse bestimmt. Diese erlaubt zudem, verschiedene Auswertelgorithmen hinsichtlich Kosteneffizienz zu vergleichen und zu optimieren. Am vielversprechendsten, etwa für Lager- und Getriebeüberwachung oder Risserkennung in Kompositen, zeigen sich hier Deep-Learning-Ansätze. Um das Potenzial auszureizen, sind neue Direktiven für Datenaustausch, -schutz und Cyber-Sicherheit notwendig.

CPS-Zukunftsvisionen umfassen die Verwertung produktspezifischer Daten entlang des Lebenszyklus für neue Geschäftsmodelle, wie individualisierte Produktion und Wartung, sowie virtuelle digitale Zertifizierung.



Integrierte Intelligenz und Vernetzung schaffen Mehrwert und ermöglichen neue Geschäftsmodelle.

Integrated intelligence and networking add value and allow for novel business models.

Cyber-Physical Systems – future-oriented technological synergies

A Cyber-Physical System (CPS) utilises sensor data of various sources, integrated intelligence, and a communication network, for instance, for predicting the health state of critical components or systems of an aircraft fleet and for directing necessary MRO actions at an early stage. The key question, for which business problems cost-saving potentials emerge with respect to conventional maintenance strategies, was examined at Bauhaus Luftfahrt in the framework of future technology analysis.

By means of Machine Learning and Big Data Analytics, a CPS can significantly reduce previous uncertainties in failure prediction by capturing complex relationships in fleet-wide data that may be difficult to describe using physics. Examples include the correlation between operating environment or repair actions and degradation rate. However, in case, relative to correctly predicted maintenance needs, missed detections or false alarms occur too often, follow-up costs, e. g. due to cascading effects or unnecessary inspection effort, can outweigh the advantages, similarly to CPS costs. The requirements on the prediction quality for achieving a net benefit strongly depend on the application. They were generally determined at Bauhaus Luftfahrt by means of a Cost-Benefit Analysis. It further allows comparing and optimising various analysis algorithms concerning cost efficiency. Here, for instance, for bearing and gearbox monitoring or crack detection in composites, deep learning approaches appear most promising. For realising the full potential, new directives for data exchange, privacy, and cyber security are in demand.

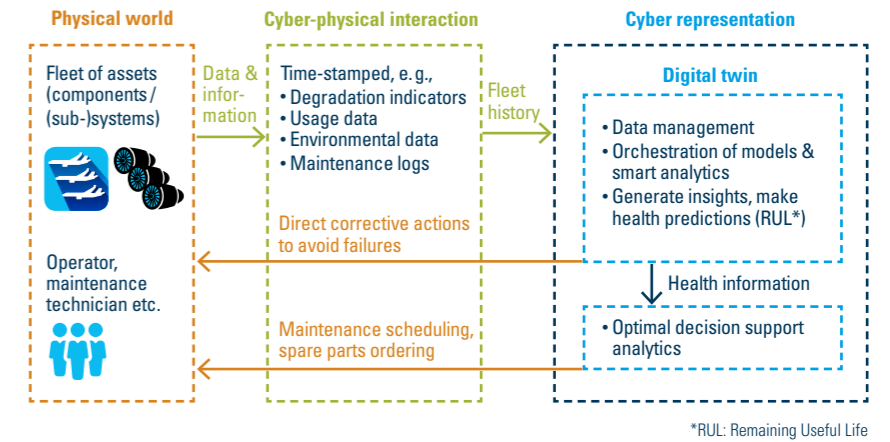
Future CPS visions include the exploitation of product-specific data along the life cycle for novel business models, such as individualised production and maintenance or virtual digital certification.

Arbeitsprinzip eines CPS

Das CPS generiert aus systemrelevanten Sensordaten, etwa zur Flottenüberwachung, ausführbare Information zur Entscheidungsunterstützung und optimierten Systemsteuerung, z. B. zur Stand- und Wartungskostenreduktion.

Working principle of a CPS

A CPS promotes system-relevant sensory data, such as for fleet monitoring, into actionable information for decision support and optimised system control, e. g. allowing for reduced downtime and MRO costs.

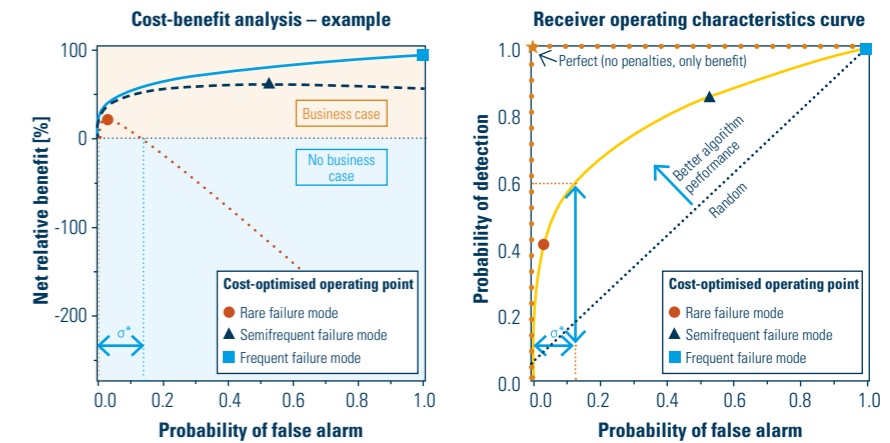


CPS-Kosten-Nutzen-Analyse

Die Kosten-Nutzen-Analyse stützt sich auf die Receiver-Operating-Characteristics-Kurve zur Leistungsbewertung und -optimierung der Datenauswertelgorithmen und zur Identifikation von Business Cases mit Nettounutzen.

CPS Cost-benefit analysis

The receiver operating characteristics curve can be directly linked with cost-benefit analysis for performance assessment and optimisation of data analysis algorithms and for identifying business cases with net benefit.



*σ denotes the economically viable range of the probability of false alarm for a rare failure mode



Dr. Andreas Sizmann Head of Future Technologies and Ecology of Aviation, Knowledge Management

“ Innovation und Evolution von Zukunftstechnologien beruhen nach William Brian Arthur („The Nature of Technology“) auf zwei Hauptfaktoren, der Kombination von Technologien und der Nutzbarmachung natürlicher Phänomene. Quanteninformatik und Graphene stehen als EU-Flagship-Themen hoch auf der F&E-Agenda. Disruptives Potenzial verspricht auch die kombinatorische Evolution, aktuell von physischen mit Informationstechnologien. Die Evolution von isolierten, statischen Lösungen hin zu vernetzten und an die Situation anpassungsfähigen Technologien schafft Cyber-physische Systeme mit neuen Fähigkeiten für die Luftfahrt. Hier sehen wir gute Chancen, grundlegend neue Zukunftsthemen zu identifizieren.

“ Innovation and the evolution of future technologies are based on two primary factors, according to William Brian Arthur („The Nature of Technology“), the combination of technologies and the harnessing of natural phenomena. Indeed, quantum informatics and graphene are both high ranked F&E topics with EU flagship funding. Combinatorial evolution promises disruptive potential as well, currently by combination of physical with information technologies. The evolution of isolated static solutions towards connected, situation-aware, and adaptive technologies creates Cyber-Physical Systems with novel capabilities for aviation. This is a promising territory for future technology scouting.

Eine Datenlandkarte für die Prozessdatenanalyse

In modernen mehrstufigen Produktionsprozessen, z. B. bei der Produktion von Flugzeugkomponenten, wird die Auswertung der anfallenden Informationen immer wichtiger. Hier kommen die Anforderungen und Daten diverser Abteilungen des Unternehmens zusammen, während die Arbeitsschritte selbst Daten von verschiedenartiger Struktur, Informationsgehalt, Geschwindigkeit und Zuverlässigkeit produzieren. Die Herausforderung besteht darin, den Informationswert dieser Daten zu kombinieren und in den Prozess zurückzuführen.

Im Bereich Fabrikation des LuFo-Projektes EFFPRO_4.0 befasst sich das Bauhaus Luftfahrt mit der Aufgabe, Daten aus der Produktion ganzheitlich zu untersuchen und Anwendungen für Datenanalysen zu testen. In enger Zusammenarbeit mit den Partnern wird ein Produktionsprozess untersucht und das Anwendungspotenzial aktueller Datenalgorithmen ermittelt.

Zu Beginn werden in einer prozessorientierten Datenlandkarte applikationsübergreifend alle Daten erfasst, die in einen Prozess einfließen oder erzeugt werden: Neben Programmdateien aus Unternehmenssystemen zählen dazu auch papiergebundene Informationen, Sensordaten und Metainformationen. Im dafür entwickelten 4+1-Modell werden die Daten aufbereitet und in verschiedenen Ansichten dargestellt. Dies schafft eine Diskussionsgrundlage, um Datenszenarien mit Beteiligten aus unterschiedlichen Domänen zu bewerten.

Mit den Projektpartnern entwickelt das Bauhaus Luftfahrt mit diesem Ansatz ein Anwendungsszenario für Datenanalyse in der Qualitätsprüfung. In einem Demonstrator werden die Messdaten auf Muster untersucht, die es ermöglichen, ähnliche Prüfungen später effizienter umzusetzen.



Die konsequente Datenaufnahme in der Fertigung erlaubt die realistische Überprüfung von Datenszenarien.

Comprehensive data acquisition in production allows for cross-domain verification of data scenarios.



Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Das zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 20Y1509E gefördert.

A data map for process data analysis

In modern multi-stage production processes, like the production of aircraft components, the analysis of information is becoming increasingly important. This is where the requirements and data of various departments of a company are brought together, while the particular work steps produce data of different structure, information content, speed, and reliability. The challenge lies in combining the information value of this data and returning such value to the overall process.

In the fabrication section of the LuFo project EFFPRO_4.0, Bauhaus Luftfahrt works on the task of examining production data holistically and testing applications for data analysis. In close cooperation with the project partners, a particular production process is investigated and the potential of applying to it the latest data algorithms is determined.

In the first part of this analysis, a process-oriented data map is used to collect all data that flows into a process or is generated across all applications: In addition to program data from enterprise systems, this also includes paper-based information, sensor data, and meta-information. In the 4+1 model developed for data collection, the data is prepared and displayed in different views. This creates a basis for discussion in order to evaluate data scenarios with participants from different company domains.

Together with its project partners, Bauhaus Luftfahrt is using this approach to develop an application scenario for data analysis in quality assurance. In a demonstrator, the measurement data is examined for samples that enable similar tests to be carried out more efficiently later on.

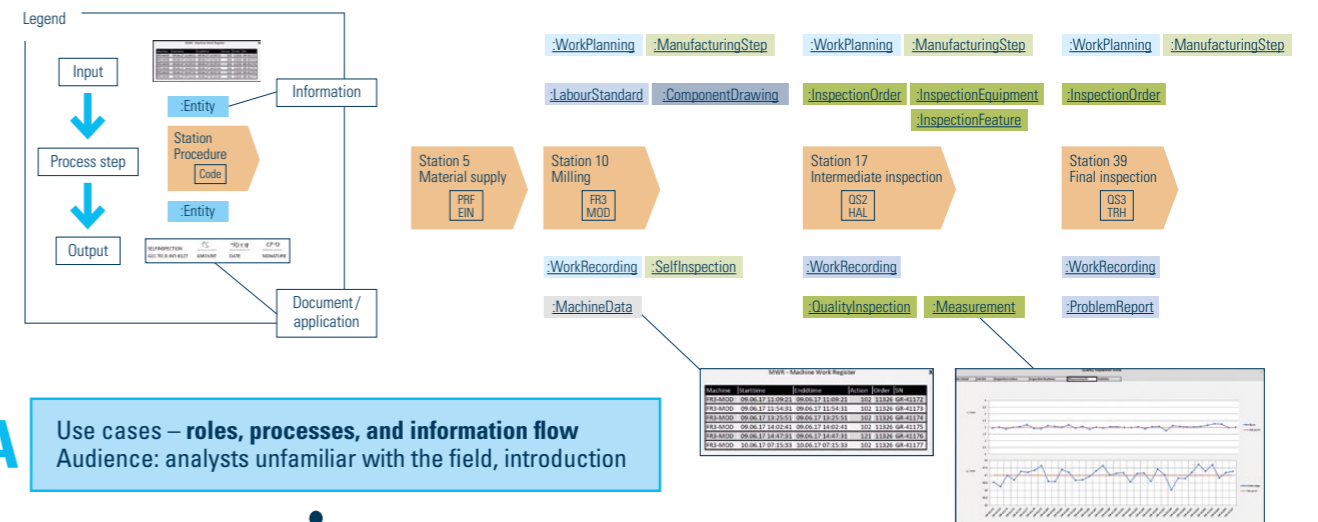
4+1-Modell der Datenlandkarte

Die Datenlandkarte verbindet Daten, IT-Systeme, Rollen und Prozessschritte. In einer Haupt- und vier Nebenansichten werden die Daten in verschiedenen Kontexten dargestellt.

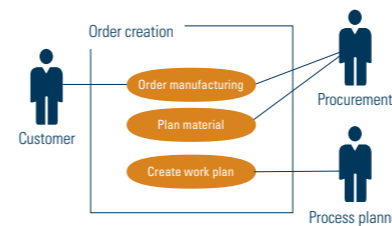
4+1 model of the data map

The data map connects data, IT systems, roles, and process steps. In one main and four detail views, the data is displayed in different contexts.

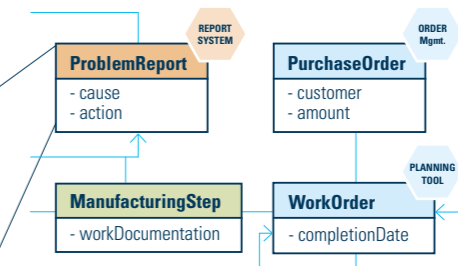
1 Main view – exemplary flow of the process Audience: process participants, overview



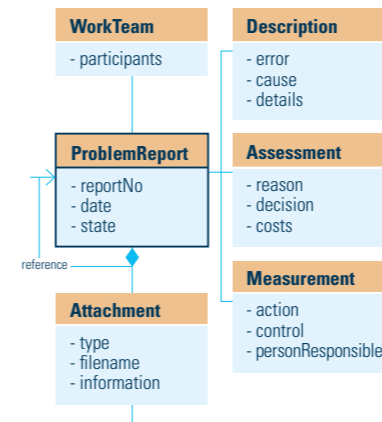
A Use cases – roles, processes, and information flow Audience: analysts unfamiliar with the field, introduction



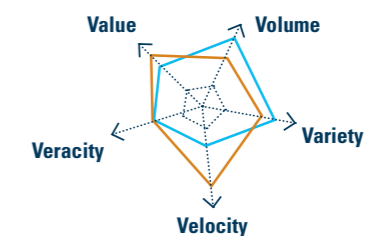
B System view – main information entities and their respective IT systems Audience: key users, overview



C Detail view – information structure inside the domains Audience: domain experts, analysts



D Data characterisation – data quality table Audience: data analysts





Seat load factor

Total operating cost

Auf der Basis eines fundierten Verständnisses zukünftiger Szenarien und Trends befasst sich der Forschungsschwerpunkt „Operationelle Aspekte“ mit den veränderten Randbedingungen der Mobilität der Zukunft und den entsprechenden Implikationen für den Luftverkehr. Neben Fragestellungen zu zukünftigen Bedürfnissen von Passagieren, Fluggesellschaften und Flughäfen werden auch neue Prozesse im Betrieb von Luftfahrzeugen untersucht. Vielversprechende Technologien und Ansätze, wie neuartige Transportkonzepte, Betriebsabläufe oder Geschäftsmodelle, werden in das Lufttransportsystem implementiert und ihr Effekt auf operationeller Ebene wie auch im Zusammenspiel eines intermodalen Verkehrs bewertet. Auf dieser Grundlage werden Effizienzpotenziale identifiziert und Handlungsempfehlungen für die unterschiedlichen Akteure der Luftfahrt formuliert.

With a profound understanding of future scenarios and trends impacting aviation, the research focus area "Operations" investigates the implications for air transport based on future mobility conditions. Starting from a solid knowledge of the future drivers of the air transport system, research questions concerning future requirements of passengers, airlines, and airports as well as novel processes related to aircraft operation are analysed. Promising technologies and approaches, such as novel intermodal transport concepts, airside operations, or business models, are implemented in the air transport system and evaluated on an operational level. The results identify efficiency potentials and hence recommendations for different stakeholders of the air transport system can be given.

RESEARCH FOCUS AREA



operations

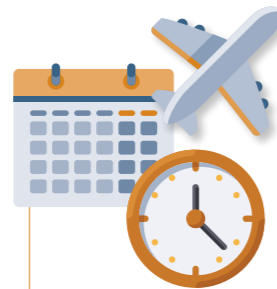
Air travellers

Terminal capacity

➤ Neue Transportkonzepte erfüllen veränderte Passagierbedürfnisse

Die Zeit von Tür zu Tür für Reisende innerhalb Europas auf vier Stunden zu verkürzen, erfordert die enge Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Dienstleistern sowie ein Umdenken hinsichtlich heute bestehender Transportformen. Potenzielle Lösungen in diesen Bereichen werden in den EU-Projekten DATASET2050 und Mobility4EU aufgezeigt, mit speziellem Fokus auf der Verkürzung von Reisezeiten und der Sicherstellung des Passagierkomforts. Automatisierte und bei Bedarf anforderbare Transportlösungen haben das Potenzial, das heutige Transportsystem signifikant zu verändern. Reisezeit wird ein gesteigerter Wert beigemessen, da sie für andere Tätigkeiten als das Steuern des Fahrzeuges genutzt werden kann.

Zudem kann das Transportmittel entsprechend variierender, individueller Bedürfnisse ausgewählt werden, private Fahrzeuge werden zunehmend obsolet und müssen somit auch nicht mehr dem Anspruch „one size fits all“ entsprechen. Hierbei ist ein weiterer betrachteter Lösungsansatz die Einbindung des Luftverkehrs in die urbane Mobilität. Die Erschließung dieser weiteren Dimension hat einen Einfluss auf die Erreichbarkeit unterschiedlicher urbaner Standorte, wie beispielsweise des Flughafens. Das Bauhaus Luftfahrt analysiert diese neuen Transportkonzepte hinsichtlich der Implikationen für den Passagier entlang der Reisekette. Durch On-Demand-Transportlösungen, die es Passagieren beispielsweise ermöglichen, von zu Hause direkt zum Flughafen zu gelangen, entfallen als stressig empfundene Umsteigeprozesse, und die Anreisezeit kann sich im Vergleich zu anderen Optionen somit erheblich verkürzen.



Zukünftige Transportlösungen sind auf Passagierbedürfnisse ausgerichtet.

Future transport solutions meet passenger needs.

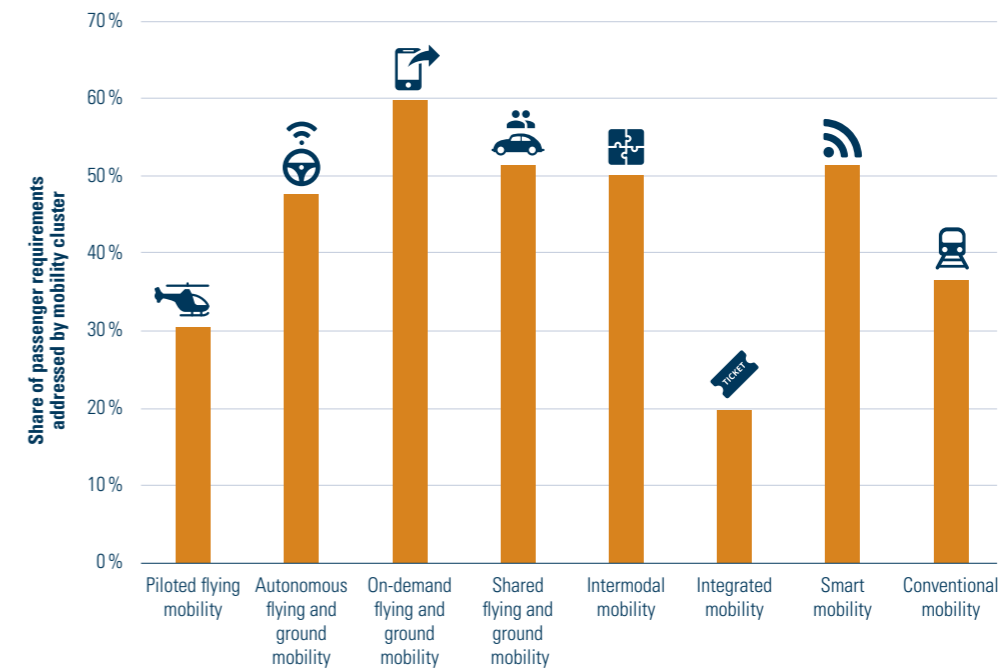


These projects have received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement Nos. 640353 and 690732.

New transport concepts meet changing customer needs

Enabling European passengers to travel from door to door within four hours requires close cooperation between different service providers and a rethinking of transport solutions available today. In the EU projects DATASET2050 and Mobility4EU, potential mobility solutions are discussed, with an emphasis on a reduction of overall travel time as well as high passenger comfort. Automated and on-demand transport solutions have the potential to change today's transport system significantly. More importance is placed on the value of travel time, since time spent in a vehicle can be used for other purposes than driving.

The choice of a particular transport mode can be based on varying individual traveller needs, privately owned vehicles are no longer required and therefore do not have to meet the "one size fits all" criterion. A further solution considered in this context is the integration of air transport in urban mobility. Including this additional dimension in the future transport system has an impact on the accessibility of different urban locations, such as the airport. Bauhaus Luftfahrt analyses the implications for passengers along the travel chain that result from these new transport solutions. On-demand concepts, which enable passengers to travel directly from their home or work to the airport, make stressful interchange processes between modes obsolete and thus lead to an increase in passenger comfort.



➤ Zukünftige Passagieranforderungen und Mobilitätscluster

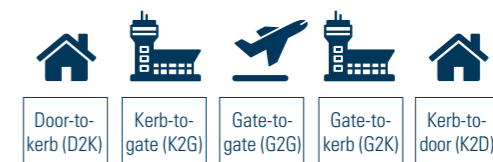
Die in DATASET2050 identifizierten Passagieranforderungen werden durch die verschiedenen Mobilitätscluster in unterschiedlicher Weise adressiert. Dieses Vorgehen bietet einen Ansatz zur Evaluierung zukünftiger Mobilitätslösungen.

Future passenger requirements and mobility clusters

The identified passenger requirements are addressed in various ways by the different mobility clusters. This framework provides an approach to assess future mobility solutions.

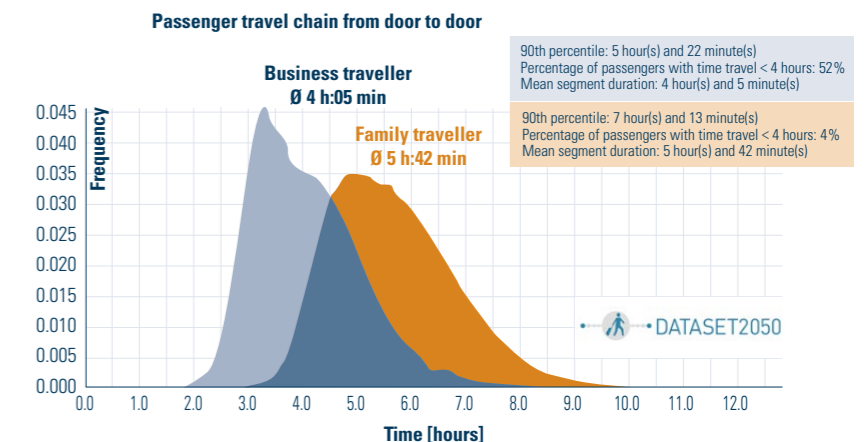
➤ Reisezeiten unterschiedlicher Passagiergruppen

Die Reisezeiten von Tür zu Tür innerhalb Europas variieren stark über verschiedene Passagiergruppen hinweg. Geschäftsreisende legen Wert auf eine optimierte Reisekette und wählen somit zeitsparende Transportmodi zum Flughafen.



Travel times of different passenger profiles

Door-to-door travel times within Europe vary across different passenger groups. Business passengers place high importance on an optimised travel chain and therefore choose timesaving airport access modes.



Systemdynamische Modellierung des Luftfahrtsystems

Der Luftverkehr ist ein komplexes System, in dem verschiedene Akteure miteinander interagieren und sich dadurch in ihrem Handeln beeinflussen. In der Forschung wird häufig nur die Perspektive eines Luftfahrtakteurs eingenommen. Das Bauhaus Luftfahrt hat im vergangenen Jahr begonnen, das Luftfahrtsystem mit seinen Hauptakteuren, den Fluggesellschaften, Flughäfen, Passagieren und Flugzeugherstellern, mittels eines holistischen Ansatzes, der systemdynamischen Modellierung, in einem ersten Schritt für Europa abzubilden. Ein wesentlicher Vorteil dieses Ansatzes ist es, Interaktionen zwischen verschiedenen Akteuren modellieren zu können. Somit sollen in Zukunft der Einfluss unterschiedlicher Geschäftsmodelle von Fluggesellschaften oder des Ausbaues der Flughafeninfrastruktur auf Netzwerkstruktur und Flottenzusammensetzung abgebildet und die Potenziale und Konsequenzen bewertet werden.

Darüber hinaus helfen ökonomische Analysen, die zukünftige Passagiernachfrage bestimmen zu können. Ein Anwendungsfall im Rahmen der zukünftig erwarteten Luftverkehrsentwicklung sind die Einflüsse auf Flughafenkapazitäten, die sich aus der erwarteten Steigerung der durchschnittlichen Flugzeuggröße ergeben.

Ziel der Modellierung des Luftverkehrs ist es, ein besseres Verständnis dafür zu gewinnen, wie verschiedene Akteure Entscheidungen treffen und untereinander agieren. Beispielsweise können Entwicklungen einer Fluggesellschaft im Rahmen ihrer mittel- bis langfristigen Flottenentwicklung abgebildet werden.



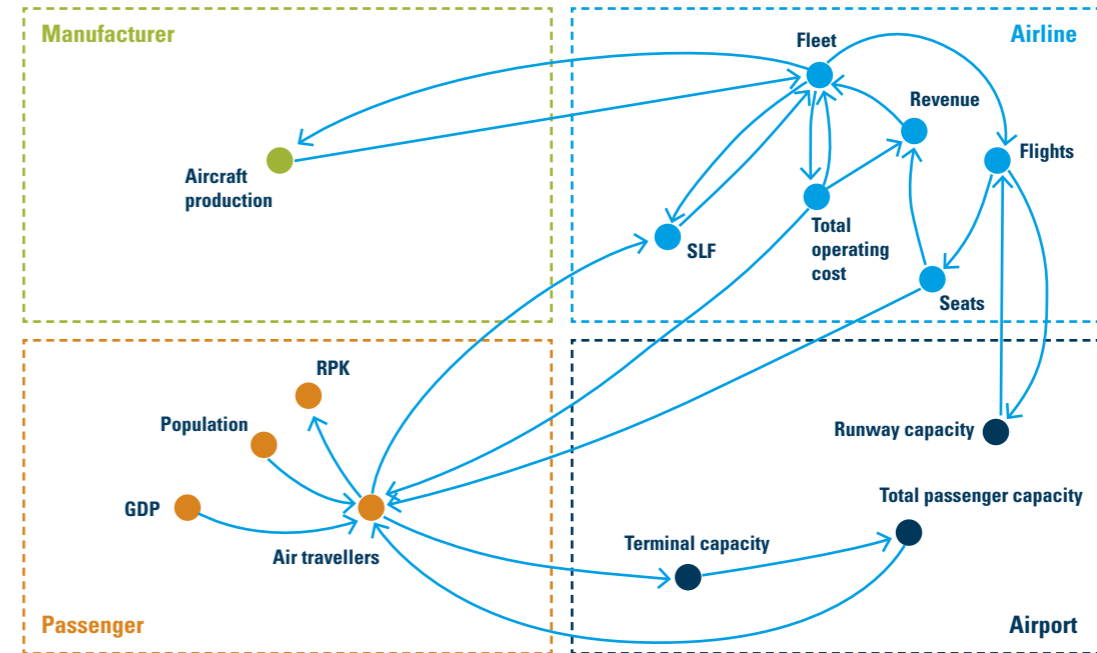
Globales Luft-transportssystem
Global air transport system

System dynamics modelling of the aviation system

Air transport is a complex system in which different stakeholders interact with each other and thus influence each other's actions. Researchers often only take the perspective of one aviation stakeholder. Bauhaus Luftfahrt has started last year to map the air transport system with its main stakeholders, the airlines, airports, passengers, and aircraft manufacturers, using a holistic approach, the system dynamics modelling, in a first step for Europe. A major advantage of this approach is the ability to model interactions between different stakeholders. For example, developments of an airline can be mapped in the context of its medium- to long-term fleet development. In the future, the influence of different business models of airlines or the expansion of the airport infrastructure on the network structure and the fleet composition will be mapped and the potentials and consequences will be evaluated.

In addition, economic analyses help to determine future passenger demand. One application in the context of the expected future development of air transport is the impact on airport capacity resulting from the expected increase in average aircraft size.

The objective of air transport modelling is to develop a better understanding of how different stakeholders make decisions and how they interact with each other.

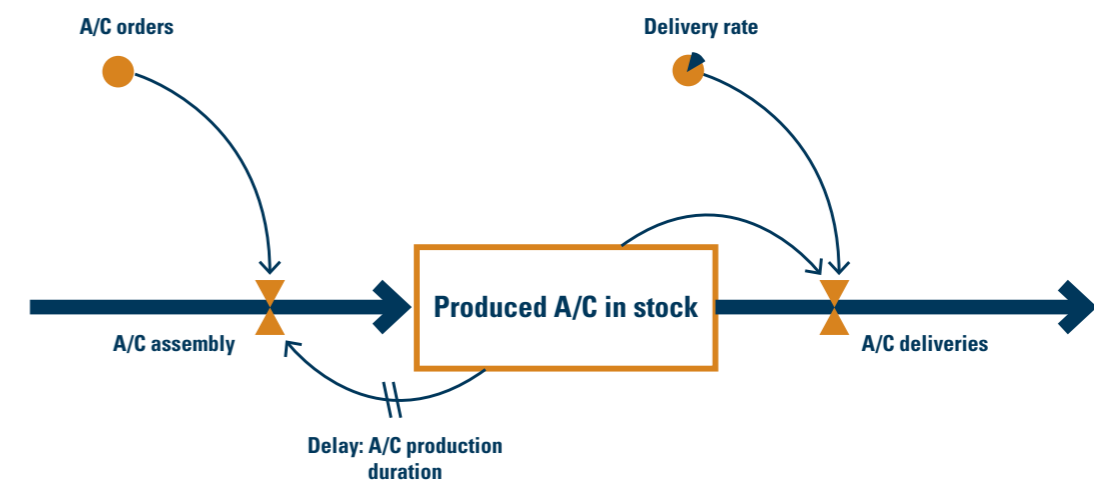


Interaktionen im Lufttransportsystem

Konzeptgraph der Interaktionen zwischen Passagieren, Fluggesellschaften, Flughäfen und Flugzeugherstellern sowie externen Einflüssen.

Air transport interactions

Conceptual graph of interactions between passengers, airlines, airports, and aircraft manufacturers as well as external influences.



Systemdynamische Modellierung

Kernelemente aus der Theorie zur systemdynamischen Modellierung; die Darstellung kann mit einer Badewanne, gefüllt mit Wasser, verglichen werden: Zuflüsse erhöhen und Abflüsse reduzieren den Wasserstand (eigene Darstellung).

System dynamics methodology

Core elements from the theory of system dynamics modelling; the representation can be compared with a bathtub filled with water: Inflows increase and outflows reduce the water level (own depiction).

On-Demand-, free-floating Sharing-Modell für Fluggesellschaften

Fluggesellschaften gehören zu den am wenigsten profitablen Akteuren in der Luftfahrtindustrie. Getrieben vom starken Wettbewerb, suchen Fluggesellschaften ständig nach Möglichkeiten zur weiteren Kostensenkung und Produktivitätssteigerung. In der Automobilindustrie entwickelte Eigentums- und Nutzungsmodelle, wie stationsbasiertes oder free-floating Carsharing, versprechen niedrigere Betriebskosten für den Nutzer.

Da Finanzierungskosten ca. ein Drittel der Gesamtbetriebskosten eines Flugzeuges ausmachen und stark von seiner Nutzungshäufigkeit abhängen, untersucht das Bauhaus Luftfahrt das Potenzial dieses neuen Eigentums- und Nutzungsmodells für die Luftfahrt. Die Grundidee des On-Demand-, free-floating Sharing-Modells für Fluggesellschaften basiert auf der Annahme, dass sie keine eigenen Flugzeuge mehr besitzen, sondern diese an Flughäfen zwischen den teilnehmenden Fluggesellschaften bedarfsorientiert geteilt werden.

Erste Studien mit unveränderten Flugplänen zeigen für die Airbus-A320- und Boeing-737-Familie ein weltweites Einsparpotenzial von bis zu 22 %, wobei kleine Teilflotten wie die A318 noch höhere Einsparpotenziale von bis zu 54 % aufweisen. Vorteile konnten auch für einzelne Luftfahrtkonzerne (z. B. bis zu 11 % für die Lufthansa Group) ermittelt werden, wobei die spezifischen Netzwerke und Flugpläne einen erheblichen Einfluss auf das Flottenreduktionspotenzial haben.

Zukünftig untersucht das Bauhaus Luftfahrt das Potenzial auch für Luftfahrtallianzen oder Billigfluggesellschaften sowie die notwendigen technischen Anforderungen an das Flugzeug und die Auswirkungen auf die Prozesse am Boden.



Werden neue Eigentums- und Nutzungsmodelle von Flugzeugen das zukünftige Bild an Flughäfen prägen?

Will new aircraft ownership and operational models shape the future image at airports?

On-demand, free-floating sharing model for airlines

Airlines are among the least profitable stakeholders in the aviation industry. Driven by strong competition, airlines are constantly looking for ways to further reduce costs and increase productivity. Ownership and operational models developed in the automotive industry, such as station-based or free-floating carsharing, promise lower operating costs for the user.

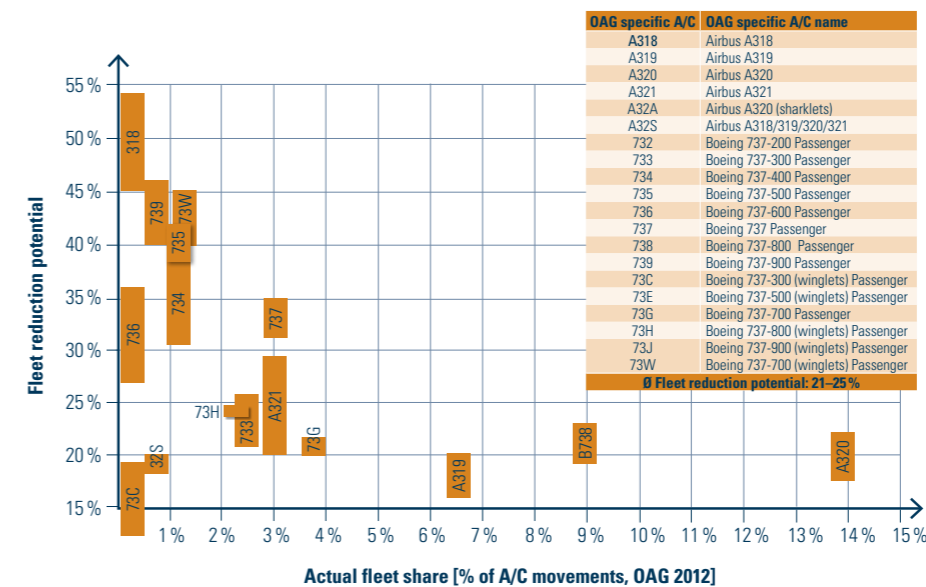
Since cost of ownership accounts for about one third of the total operating costs of an aircraft and strongly depends on aircraft utilisation, Bauhaus Luftfahrt is investigating the potential of this new ownership and operational model for aviation. The basic idea of the on-demand, free-floating sharing model for airlines is based on the assumption that airlines do not longer own the aircraft. Instead, aircraft are pooled at the airport and shared between all participating airlines on a demand-driven basis.

Initial studies with unchanged flight schedules show a worldwide savings potential of up to 22 % for the Airbus A320 and Boeing 737 family. Smaller sub-fleets, such as the Airbus A318, show an even higher savings potential of up to 54 %. Advantages could also be identified for individual aviation companies (e. g., up to 11 % for the Lufthansa Group), whereby the specific networks and flight schedules have a significant influence on the fleet reduction potential.

In the future, Bauhaus Luftfahrt will also be investigating the potential for aviation alliances or low-cost airlines, the necessary technical requirements for the aircraft as well as the effects on airport ground processes.

Einsparpotenzial von Flugzeugen durch ein On-Demand-, free-floating Sharing-Modell für Fluggesellschaften

Durch On-Demand, free-floating Sharing liegt das Flugzeugeinsparpotenzial für große Flugzeugteilstetten, wie der Airbus-A320- oder der Boeing-737-800-Flotte, bei ca. 16 bis 22 %, für kleine Teilflotten, wie der A318, bei bis zu 54 % (eigene Darstellung).

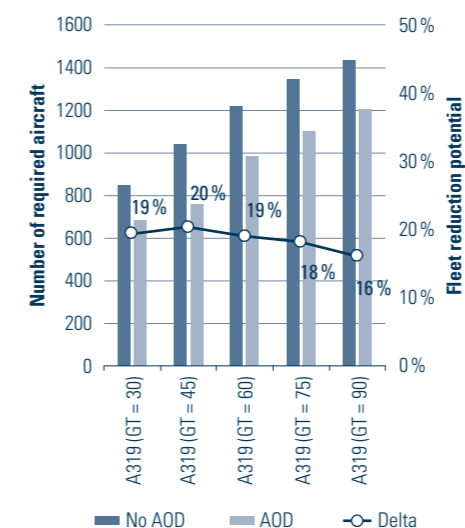


Aircraft savings potential through an on-demand, free-floating sharing model for airlines

For on-demand, free-floating sharing, a possible savings potential for large aircraft fleets, such as the Airbus A320 or the Boeing 737-800 fleet, is approx. 16 to 22 %, for small fleets, such as the A318, up to 54 % (own depiction).

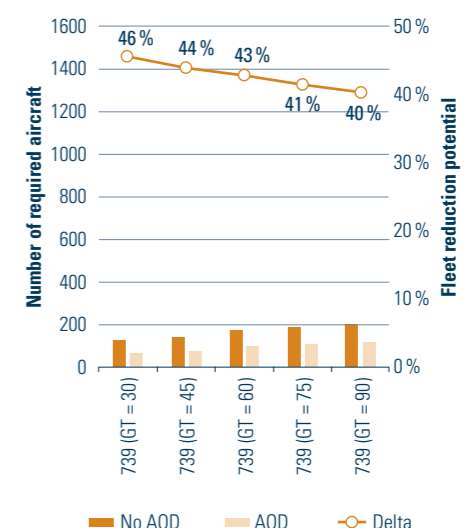
Flugzeugeinsparpotenzial

Flugzeugeinsparpotenzial für große (Airbus A319, links) und kleine Teilflotten (Boeing 737-900, rechts) durch das On-Demand-, free-floating Sharing-Modell in Abhängigkeit möglicher Bodenstandzeiten (GT).



Fleet reduction potential

Reduction potential for large (Airbus A319, left) and small aircraft fleets (Boeing 737-900, right) through the on-demand, free-floating sharing model depending on possible aircraft ground times (GT).



Welchen Beitrag kann die Luftfahrt zur Mobilität in Städten leisten?

Das Konzept der Nutzung vertikal startender und landender Flugzeuge – sogenannter VTOL-Flugzeuge – für die innerstädtische Mobilität rückt zunehmend in den Fokus von Öffentlichkeit, Industrie und Forschung. Das Konzept einer luftgestützten Mobilität mit VTOL-Flugzeugen ist nicht neu, jedoch decken solche, heute durch Helikopter bediente, Taxidienste nur eine marginale Nische im Portfolio von Mobilitätslösungen in Städten ab. Mit dem technologischen Fortschritt im Bereich der Elektrifizierung des Antriebssystems sowie der Autonomie und Sensor- und Kommunikationstechnologien versprechen nun diese neuartigen VTOL-Flugzeuge – allgemein auch oft Flugtaxi genannt – erhebliche Reduktionspotenziale im Bereich Kosten und Lärm. Weiter könnten die Reisezeiten durch eine signifikante Steigerung der Transportgeschwindigkeit stark reduziert werden. Die notwendigen Leistungscharakteristiken der VTOL-Flugzeuge, die Analysen einer möglichen Integration im Zusammenspiel mit anderen Verkehrsträgern sowie deren Auswirkungen auf die Stadtplanung und -entwicklung sind allerdings noch nicht vollständig verstanden. Das Bauhaus Luftfahrt erarbeitet daher grundlegende Methoden zur Auslegung, Transportmodellierung sowie sozioökonomischen Bewertung solcher Transportkonzepte in Städten.

Kernfragen bilden dabei die Architekturen und Effizienzen der Luftfahrzeuge, die potenzielle Verkehrsleistung in städtischen Verkehrssystemen sowie die Auswirkungen auf das allgemeine und gesellschaftliche Wohlergehen mit dem Ziel eines Einsatzes im öffentlichen Nahverkehr – im Gegensatz zum heutigen Nischenverkehr für zeitkritische, wohlhabende Nutzer.



Darstellung des CityAirbus-Konzeptes: ein flügelloses, viersitziges, elektrisches VTOL-Flugzeug
Rendering of the CityAirbus concept: a wingless, four-seater, electric, next-gen VTOL vehicle

What contribution can aviation make to urban mobility?

The concept of using vertical take-off and landing aircraft – so-called VTOL aircraft – for inner-city mobility increasingly becomes of public, industry, and research interest. Even though the idea of airborne mobility using VTOL vehicles is not novel, as helicopter-based taxi services have been and are still existent in metropolitan areas worldwide, they only cover a marginal niche in the portfolio of mobility solutions in cities. With technological progress in the field of electric propulsion, as well as autonomy and sensor and communication technologies, these new types of VTOL aircraft – often also referred to as airborne taxis – now promise considerable cost and noise reduction potentials. In addition, travel times could be drastically reduced by a significant increase in transport speed. However, the necessary performance characteristics of VTOL aircraft, the analyses of possible integration in interaction with other modes of transport as well as their effects on urban planning and development are not yet fully understood. Therefore, Bauhaus Luftfahrt is developing fundamental methods for the design, transport modelling, and socio-economic evaluation of such transport concepts in cities.

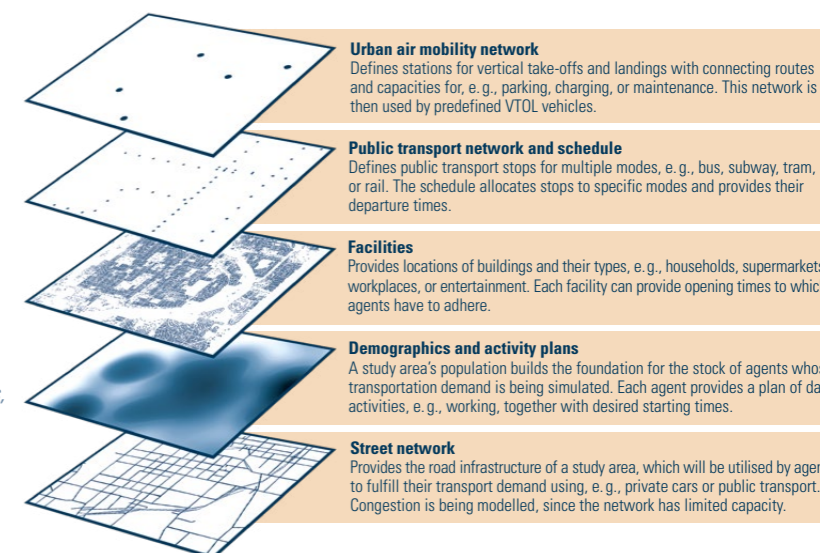
Key issues here are the architecture and efficiency of vehicles, the potential traffic performance in urban transport systems, and the impact on the general and social well-being with the aim of using public transport – in contrast to today's niche traffic for time-critical, wealthy users.

Bausteine der urbanen Luftmobilitätsmodellierung

Für ein umfassendes Bild von urbanen Verkehrssystemen müssen unterschiedliche Datenebenen miteinander kombiniert werden. Nur dann können Verkehrsauswirkungen von neuartigen Transportkonzepten analysiert werden.

Elements of urban air mobility modelling

For a comprehensive picture of urban traffic systems, different data levels have to be combined into one transport model. Only then is it possible to analyse the effects of new transport concepts effectively.



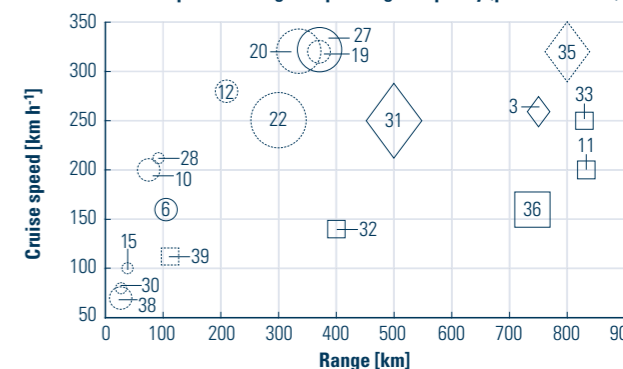
Zusammenstellung veröffentlichter Daten von Luftfahrzeugen für „Urban Air Mobility“

Das Diagramm verdeutlicht die Heterogenität der Zielsetzungen für diese neue Flugzeugklasse. Größere Reichweiten und höhere Reisegeschwindigkeiten, kombiniert mit VTOL, führen zudem zu höherer Systemkomplexität.

Compiled published data of air vehicles for urban air mobility

The diagram illustrates the heterogeneity of the objectives for this new aircraft class. Longer ranges and higher cruising speeds, combined with VTOL, also lead to higher system complexity.

Cruise speed vs. range vs. passenger capacity (published data)



PAX: 12, 4, 15
Energy Supply: Electric, Hybrid-Electric, Fuel
Cruise and VTOL Capability: Regular number: Fixed-Wing Cruise, Bold number: Rotary-Wing Cruise, Dotted line: VTOL, Dashed line: CTOL / STOL

(3) AeroMobil 4.0 (AeroMobil, 2017)
 (6) Airbus E-Fan 2.0 (Airbus, 2016)
 (10) Aurora eVTOL (Aurora Flight Sciences, 2017)
 (11) Carplane (Carplane GmbH, 2016)
 (12) Carter/Mooney SRC E-Air Taxi (Carter Aviation Technologies, 2017)
 (13) Ehang 184 (Ehang, 2017)
 (19) Joby S2 (Stoll, 2014)
 (20) Joby S4 (Stoll, 2015)
 (22) Lilium Jet (Lilium GmbH, 2017)
 (27) NASA LEAPTech (Stoll, 2014)
 (30) Neva AirQuadOne (Neva Aerospace, 2017)
 (31) ONERA Ampere (Hermetz, 2016)
 (32) PAL-V Liberty (PAL-V International, 2017)
 (33) Samson Switchblade (Samson Motorworks, 2012)
 (35) Terrafugia TF-X (Terrafugia, 2017)
 (36) Terrafugia Transition (Terrafugia, 2017)
 (38) Volocopter 2X (Volocopter GmbH, 2017)
 (39) Workhorse SureFly (Workhorse Group Inc., 2017)



Dr. Kay Plötner Head of Economics and Transportation, Lead Operations
Dr. Jochen Kaiser Head of Visionary Aircraft Concepts

„Dass die Luftfahrt ein kommerzielles Produkt für urbane Mobilität in der nächsten Dekade anbieten wird, ist aus unserer Sicht sehr wahrscheinlich – ob als Marktnische oder als relevanten neuen Transportmodus, ist noch schwer abzuschätzen. Die Transportleistungen für Metropolen sowie die Kosten für einen innerstädtischen Lufttransport müssen valide eingeschätzt und auf die Anforderungen an Sicherheit, Lärm und Umweltverträglichkeit abgestimmt werden. Am Bauhaus Luftfahrt werden durch die interdisziplinäre Arbeit technologische, regulatorische wie auch sozioökonomische Aspekte untersucht. Nur so können der mögliche Mehrwert durch „Urban Air Mobility“ für Gesellschaft und Städte aufgezeigt und eine Akzeptanz erreicht werden.“

“From our perspective, aviation will offer a commercial product for urban mobility in cities in the next decade – whether as a market niche or as a relevant new mode of transport, is still difficult to estimate. Relevant transport services for metropolises and the costs of inner-city air transport must be validly assessed and harmonised with requirements for aircraft safety, noise, and environmental impact. The interdisciplinary approach at Bauhaus Luftfahrt will bring technological, regulatory, and socio-economic aspects together. Only in this way can the potential added value of urban air mobility for society and cities be demonstrated and an acceptance of air traffic in the urban environment be achieved.”



Erneuerbare Alternativen zu konventionellem Kerosin rücken aus ökologischen und ökonomischen Gründen zunehmend in den Fokus der Luftfahrt. In diesem vielfältigen Themenfeld konzentriert sich der Forschungsschwerpunkt „Alternative Kraftstoffe“ am Bauhaus Luftfahrt auf folgende zentrale Fragestellungen: Welche Mengen können in Zukunft weltweit auf nachhaltige Weise produziert werden? Welche technischen Produktionspfade stehen für eine langfristige Versorgung zur Verfügung? Und wie sind diese Pfade im Hinblick auf ihre technischen, ökologischen und sozioökonomischen Potenziale zu bewerten? Langfristige, bislang weniger entwickelte Optionen spielen in den Betrachtungen eine besondere Rolle. Die Produktion aus unkonventionellen biogenen Rohstoffen, wie Mikroalgen, oder nichtbiogene Prozesse, wie solare Kraftstoffe und Power-to-Liquid (PtL), stellen hierzu wichtige Forschungsansätze dar.

RESEARCH
FOCUS AREA



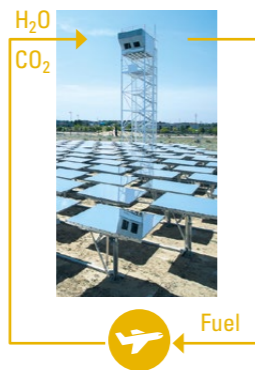
For ecological and economic reasons, renewable alternatives to conventional jet fuel have moved into the focus of interest of the aviation industry. In this diverse thematic field, the research focus area “Alternative Fuels” at Bauhaus Luftfahrt addresses the following key questions: Which quantities could be produced worldwide in a sustainable way? Which technical production pathways are available for a long-term supply of renewable fuels? And how do these pathways perform with respect to technical, environmental and socioeconomic criteria? Currently less mature technology options with promising potentials for long-term applications are of particular interest for the work at Bauhaus Luftfahrt. Fuel production from unconventional types of biomass, such as microalgae, or nonbiogenic approaches, such as solar fuels and Power-to-Liquid (PtL), represent important research topics in this context.

alternative fuels

Wasser- und Landbedarf solarthermochemischer Kraftstoffe

Die Herstellung solarthermochemischer Kraftstoffe beruht auf der Umwandlung von Kohlendioxid und Wasser mithilfe konzentrierter Solarenergie. Durch ihre Nutzung können die CO₂-Emissionen um über 80 % gegenüber konventionellem Kerosin gesenkt werden – bei prinzipiell unbegrenzter Verfügbarkeit. Dabei bieten die effiziente Nutzung der Ressourcen und die Herstellung an ariden Wüstenstandorten Vorteile gegenüber anderen Kraftstoffoptionen. Da jedoch an diesen Standorten Wasser ein knappes und wertvolles Gut darstellt, ist ein schonender Umgang damit essenziell.

Das Bauhaus Luftfahrt hat in den EU-geförderten Projekten SOLAR-JET und SUN-to-LIQUID eine detaillierte Analyse des Wasser- und Landverbrauchs solarthermochemischer Kraftstoffe durchgeführt und die Ergebnisse mit anderen Kraftstoffalternativen verglichen. Die Analyse zeigt, dass der direkte Wasserverbrauch der Kraftstoffproduktion sehr niedrige Werte von 7,4 Litern pro Liter Kerosin erreicht. Der indirekte Wasserverbrauch ist mit 42,4 Litern pro Liter Kerosin deutlich höher und geht hauptsächlich auf den Abbau des Reaktionsmediators Ceroxid zurück. Doch selbst der kombinierte Wasserverbrauch ist sehr gering, insbesondere im Vergleich mit Biokraftstoffen. Der flächenspezifische Ertrag von bis zu 33 500 Litern pro Hektar ist geringer als bei Power-to-Liquid-Prozessen (PtL), übertrifft jedoch die Erträge von Biokraftstoffen deutlich. Durch die bevorzugte Produktion an ariden Wüstenstandorten wird zudem ein erhöhter Nutzungsdruck auf fruchtbare Landflächen vermieden.



Schematische Darstellung des solarthermochemischen Kraftstoffpfades. Wasser und Kohlendioxid werden mithilfe konzentrierten Sonnenlichts in flüssige Kraftstoffe umgewandelt.

Schematic representation of the solar thermochemical fuel production pathway. Water and carbon dioxide are converted into liquid fuels using concentrated solar energy.



These projects have received funding from the European Union's 7th Framework Programme for research, technological development and demonstration under grant agreement No. 285098 and the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No. 654408.

Water footprint and land requirements of solar thermochemical fuels

The production of solar thermochemical fuels is based on the conversion of carbon dioxide and water using concentrated solar energy. Their utilisation can reduce the life-cycle CO₂ emissions by over 80 % compared to conventional jet fuel, offering at the same time, in principle, an unlimited production potential. The efficient use of resources and the production in arid desert regions imply advantages over other fuel production pathways. However, as in these locations water is a rare and valuable good, it is imperative to use it sparingly.

In the EU-funded projects SOLAR-JET and SUN-to-LIQUID, Bauhaus Luftfahrt has performed a detailed analysis of the demand for water and land associated with solar thermochemical fuel production and compared the results with other fuel production pathways. The study shows that the direct water demand of fuel production reaches very low values of 7.4 litres per litre of jet fuel. The indirect water demand at 42.4 litres per litre of jet fuel is significantly higher and can mainly be ascribed to the provision of the reactive material cerium oxide. However, even the combined water requirements are very low, especially when compared with those of biofuels. The area-specific productivity of up to 33,500 litres per hectare and year is lower than for Power-to-Liquid (PtL) processes, but clearly higher than for biofuels. Furthermore, the production in arid desert regions avoids the competition for fertile land.

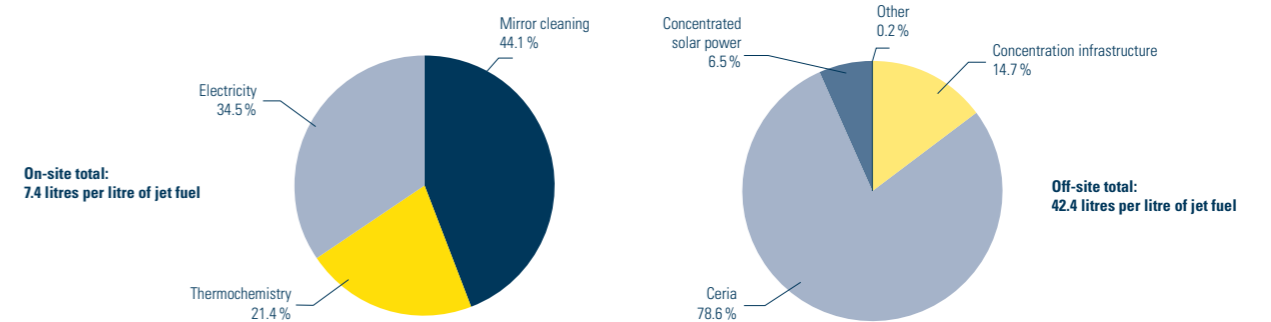
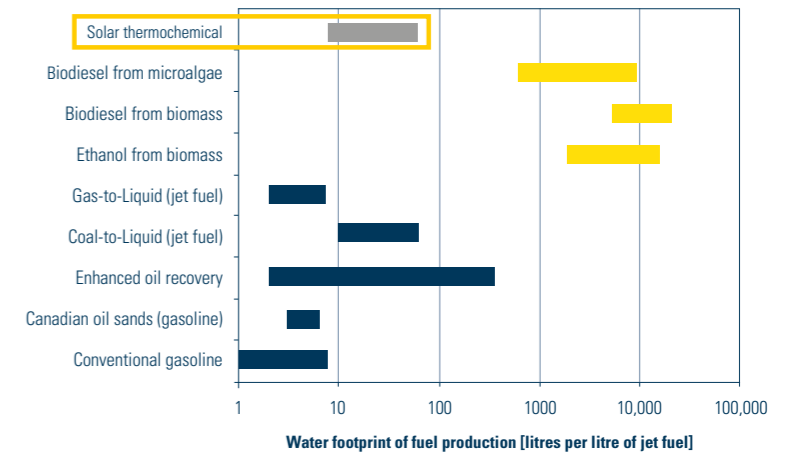
Falter, C.; Batteiger, V.; Sizmman, A. Climate Impact and Economic Feasibility of Solar Thermochemical Jet Fuel Production. *Environ. Sci. Technol.* 2016, 50 (1), 470–477; DOI 10.1021/acs.est.5b03515.
Falter, C.; Pitz-Paal, R. Water Footprint and Land Requirement of Solar Thermochemical Jet-Fuel Production. *Environ. Sci. Technol.* 2017, 51 (21), 12938–12947; DOI 10.1021/acs.est.7b02633.

Wasserbedarf verschiedener Kraftstoffe

Wasserverbrauch verschiedener Kraftstoffpfade (nichtbiogen: grau, biogen: gelb, fossil: dunkelblau). Die Werte der Vergleichspfade wurden der wissenschaftlichen Literatur entnommen.

Water requirements of different fuels

Water footprint of different fuel production pathways (nonbiogenic: grey, biogenic: yellow, fossil: dark blue). The values of the other fuel pathways were taken from the scientific literature.



Direkter und indirekter Wasserbedarf solarthermochemischer Kraftstoffe

Direkter (links) und indirekter (rechts) Wasserverbrauch solarthermochemischer Kraftstoffe. Der direkte Verbrauch ist durch das Reinigen der Spiegel geprägt, der indirekte Verbrauch durch den Abbau von Ceroxid.

Direct and indirect water requirements of solar thermochemical fuels

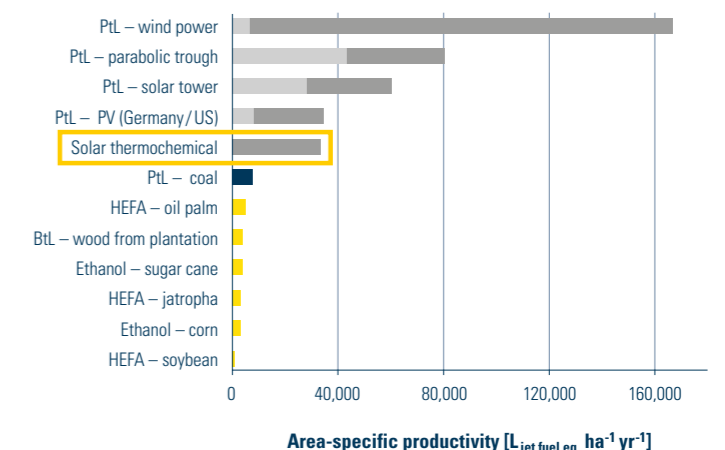
Direct (left) and indirect (right) water footprint of solar thermochemical fuels. The direct footprint is dominated by the cleaning of the mirrors and the indirect one by the mining of cerium oxide.

Flächenertrag verschiedener Kraftstoffe

Flächenertrag verschiedener Kraftstoffpfade (nichtbiogen: grau, biogen: gelb, fossil: dunkelblau). Die höchsten Werte werden von Power-to-Liquid-Prozessen (PtL) und dem solarthermochemischen Pfad erreicht.

Area-specific productivity of different fuels

Area-specific productivity of different fuel pathways (nonbiogenic: grey, biogenic: yellow, fossil: dark blue). The highest values are reached by Power-to-Liquid (PtL) processes and the solar thermochemical pathway.



Hydrothermale Verflüssigung: neue Kraftstoffe aus biogenen Quellen

Die hydrothermale Verflüssigung (hydrothermal liquefaction, HTL) bietet den Vorteil, nahezu jeden biogenen Rohstoff, einschließlich Algen und Abfallströme wie Klärschlamm, ohne eine energieintensive Trocknung umsetzen zu können. Erste technoökonomische und ökologische Studien deuten darauf hin, dass die Kraftstoffproduktion, insbesondere bei einer Verwertung von Rest- und Abfallstoffen, dadurch kosteneffizient und mit vorteilhafter Treibhausgasbilanz möglich ist.

Eine Übersicht zum derzeitigen Entwicklungsstand und den Potenzialen der HTL-Technologie wurde vom Bauhaus Luftfahrt in Zusammenarbeit mit der dänischen Aarhus Universität in einem Buchkapitel¹ vorgestellt. Im HTL-Prozess wird Biomasse in wässrigem Medium unter Druck und nahe der kritischen Temperatur von Wasser (374 °C) in ein erdölähnliches Rohprodukt (Biocrude) und eine wässrige Phase umgesetzt. Aus dem Biocrude werden durch petrochemische Verfahren Kraftstoffe produziert; die wässrige Phase bietet Potenzial zur weiteren energetischen Nutzung gelöster organischer Bestandteile und zur Gewinnung anorganischer Dünger.

Im Hinblick auf eine industrielle Nutzung besteht jedoch noch erheblicher Forschungsbedarf, speziell zur Raffination von Biocrude zu marktfähigen Kraftstoffen oder Chemikalien sowie zur Verwertung der im HTL-Prozess anfallenden wässrigen Phase. Das Schließen dieser Forschungslücken ist das zentrale Ziel des EU-geförderten Verbundvorhabens HyFlexFuel, in dem zehn europäische Partner unter der Koordination des Bauhaus Luftfahrt an der Entwicklung einer HTL-basierten Prozesskette zur Kraftstoffproduktion arbeiten.



Das Vorhaben befasst sich mit der gesamten Prozesskette der HTL-basierten Produktion erneuerbarer Kraftstoffe.

This project is focused on the complete HTL-based process chain to produce renewable fuels.



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No. 764734.

Hydrothermal liquefaction: new fuels from biogenic sources

Hydrothermal liquefaction (HTL) offers the possibility to convert essentially any type of biogenic feedstock into liquid fuels, including algae and problematic waste streams, such as sewage sludge, without the requirement of prior energy-intensive drying. First techno-economic and environmental studies indicate that this conversion route enables a cost-efficient fuel production with an advantageous greenhouse gas balance, particularly in case of utilising waste streams as feedstock.

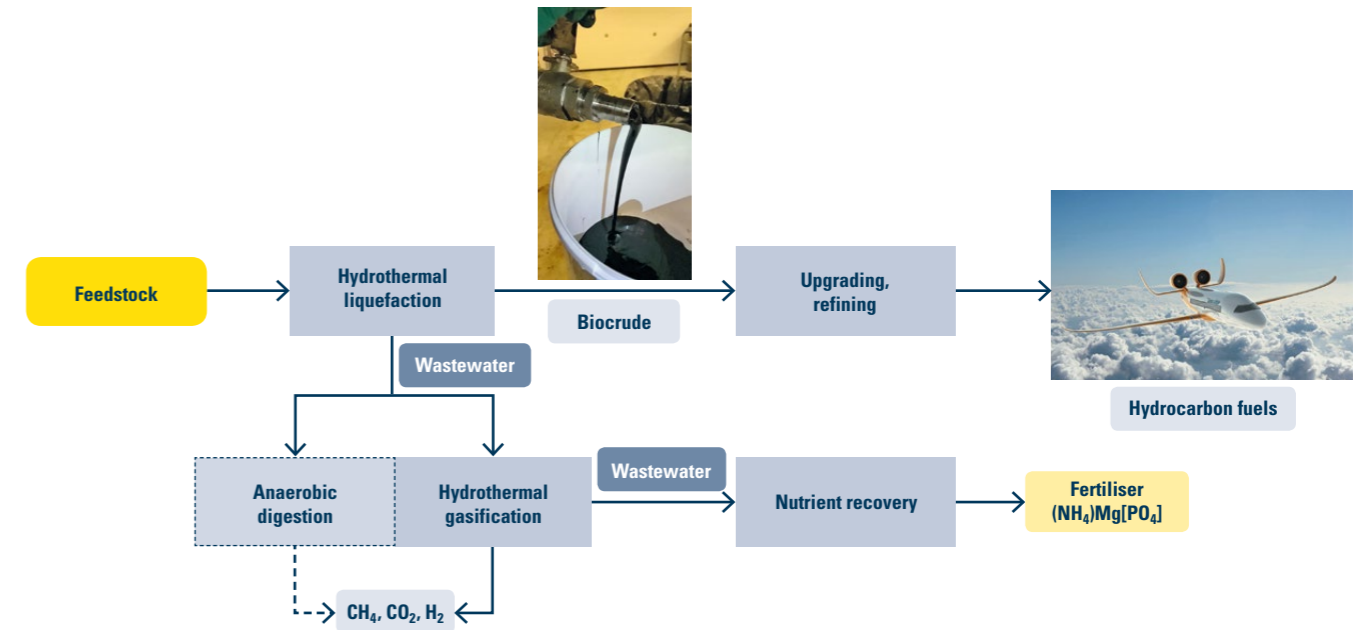
Bauhaus Luftfahrt and the Danish Aarhus University presented a review of the current state of development and the potentials of HTL technologies in a book chapter¹. The HTL process converts biomass in an aqueous medium under high pressure and near the critical temperature of water (374 °C) into an oleaginous raw product termed biocrude and an aqueous phase. The biocrude can be upgraded to liquid hydrocarbon fuels through petrochemical procedures; the aqueous phase offers the potential for an energetic valorisation of the dissolved organic components and for the precipitation of inorganic nutrients as marketable fertilisers.

However, substantial research effort is required towards an industrial implementation of HTL-based fuel production, particularly with respect to the upgrading of biocrude to fuel products or chemicals as well as to the valorisation of the inherently produced aqueous phase. The closure of this research gap is the central objective of the EU-funded collaborative project HyFlexFuel, in which ten European partners, under coordination of Bauhaus Luftfahrt, work on the development of a complete HTL-based fuel production chain.

¹ Biller, P.; Roth, A. Hydrothermal Liquefaction: A Promising Pathway Towards Renewable Jet Fuel. In: Biokerosene – Status and Prospects; Kaltschmitt, M., Neuling, U., Eds.; Springer-Verlag: Berlin 2017; pp. 607–638.51 (21), 12938–12947; DOI 10.1021/acs.est.7b02633.

HTL-basierte Kraftstoffproduktion

Vereinfachtes Schema des HyFlexFuel-Prozesspfades. Nach der HTL-Konversion werden aus dem Biocrude Kraftstoffe produziert; die wässrige Phase wird zur Gewinnung energiereicher Gase und marktfähiger Dünger genutzt.



HTL-based fuel production

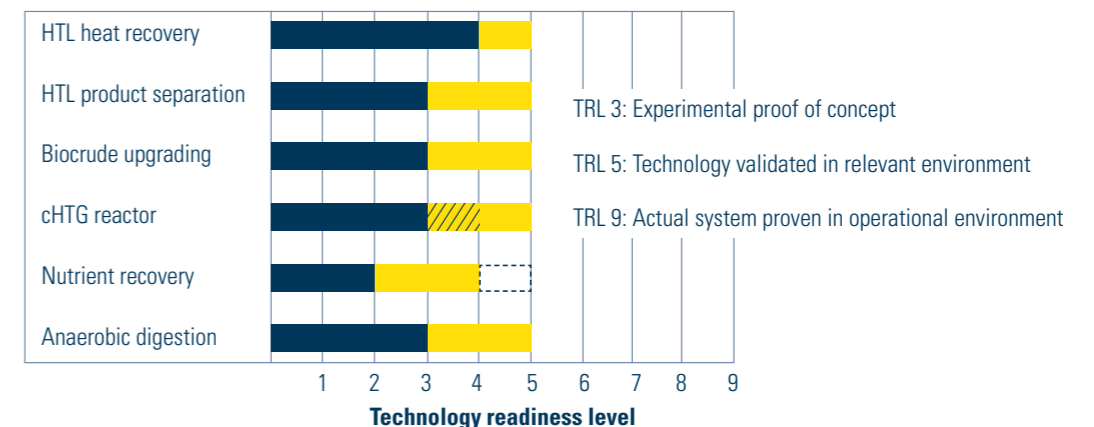
Simplified schematic of the HyFlexFuel process. After HTL conversion, the yielded biocrude is upgraded to liquid fuels; the aqueous phase (wastewater) is used to generate high-energy gases and marketable fertilisers.

HyFlexFuel-Entwicklungsziele

In HyFlexFuel angestrebter Entwicklungsfortschritt (gelb) für wichtige Teilschritte der Prozesskette, ausgedrückt als Technology readiness level (TRL), gegenüber dem aktuellen Stand der Technik (dunkelblau) (cHTG: Catalytic hydrothermal gasification)

HyFlexFuel research targets

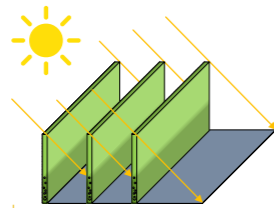
Progress in technology development (yellow) targeted in HyFlexFuel for central process steps, in comparison to the current state of development (dark blue) (cHTG: Catalytic hydrothermal gasification)



► Biomasseerträge von Mikroalgen in industrieller Kultivierung

Mikroalgen sind mikroskopisch kleine Organismen, die mittels Photosynthese Kohlendioxid in Form von Biomasse binden. Da Mikroalgen um ein Vielfaches schneller wachsen können als Landpflanzen und überdies große Mengen energiereichen Öles produzieren können, gelten sie als ein vielversprechender Rohstoff für die Erzeugung erneuerbarer Kraftstoffe. Empirisch belegte Informationen zu tatsächlich in industrieller Kultivierung erzielbaren Erträgen sind derzeit jedoch kaum verfügbar. Aus diesem Grund wurde vom Bauhaus Luftfahrt ein detailliertes Computermodell entwickelt, mit dem die Erträge von Mikroalgen unter industriell relevanten Bedingungen in Abhängigkeit des Standortes sowie der Dimensionierung und Ausrichtung der geschlossenen Photobioreaktoren simuliert werden können.

Ein kritischer Designparameter ist der Abstand der Reaktorplatten, da Abschattungseffekte einen starken Einfluss auf Temperatur und Lichtverteilung in den Reaktoren ausüben. Bei einer Reaktorhöhe von 1,00 m ergeben die Simulationen die höchsten Erträge für Reaktorabstände von 0,40 bis 0,75 m. Die Arbeiten zeigen auch, dass in großtechnischer Kultivierung Biomasseerträge von etwa $100 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ möglich sind. Damit werden Erträge landbasierter Energiepflanzen deutlich übertroffen. Beispielsweise erreichen schnellwachsende Gehölze in Europa Biomassezuwächse von etwa 5 bis $18 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Als besonders zur Algenkultivierung geeignet erweisen sich Standorte mit mediterranem oder tropischem Klima. In heißen Wüstenregionen neigen Algenkulturen dagegen zur Überhitzung, was mit starken Ertragsverlusten einhergeht.



Darstellung des Kultivierungssystems aus vertikalen Flachplatten-Photobioreaktoren mit eingehender Sonnenstrahlung und Abschattungseffekten

Illustration of cultivation system of vertical flat plate photobioreactors with solar radiation and shading effects

Biomass yields of microalgae in industrial cultivation

Microalgae are microscopic organisms that assimilate carbon dioxide in the form of biomass via photosynthesis. They can grow much faster than terrestrial plants and are capable of accumulating large quantities of lipids in the cells, rendering microalgae a promising feedstock for the production of renewable fuels. However, empirically documented information on actual yields that can be achieved in industrial production systems is scarce. Therefore, Bauhaus Luftfahrt has developed a detailed computer model to simulate microalgae yields for cultivation in vertical flat plate photobioreactors under industrially relevant conditions. In the model, biomass yields are determined based on the geographic location, geometry, and orientation of the reactors.

A critical design parameter is the distance between the reactor panels, since shading strongly affects the reactor temperature and the light distribution within the panels. At a reactor height of 1.00 m, maximum yields were found at panel distances between 0.40 and 0.75 m. The work further demonstrates that biomass yields of about $100 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ are possible in large-scale cultivation. This significantly exceeds yields typically found for land-based energy crops, for example, 5 to $18 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ in case of fast-growing trees in Europe. Our simulation results show that locations with Mediterranean or tropical climate are particularly suitable for algae cultivation, offering high productivity potentials. In hot desert regions, however, algae cultures tend to overheat, resulting in significant reductions in algae biomass yields.

Endres, C. H.; Roth, A.; Brück, T. B. Modeling Microalgae Productivity in Industrial-Scale Vertical Flat Panel Photobioreactors. *Environ. Sci. Technol.* 2018; submitted for publication.

Endres, C. H. Modeling temperature and microalgae productivity for photobioreactors in industrial-scale cultivation plants. Doctoral thesis, Technical University of Munich, 2017.

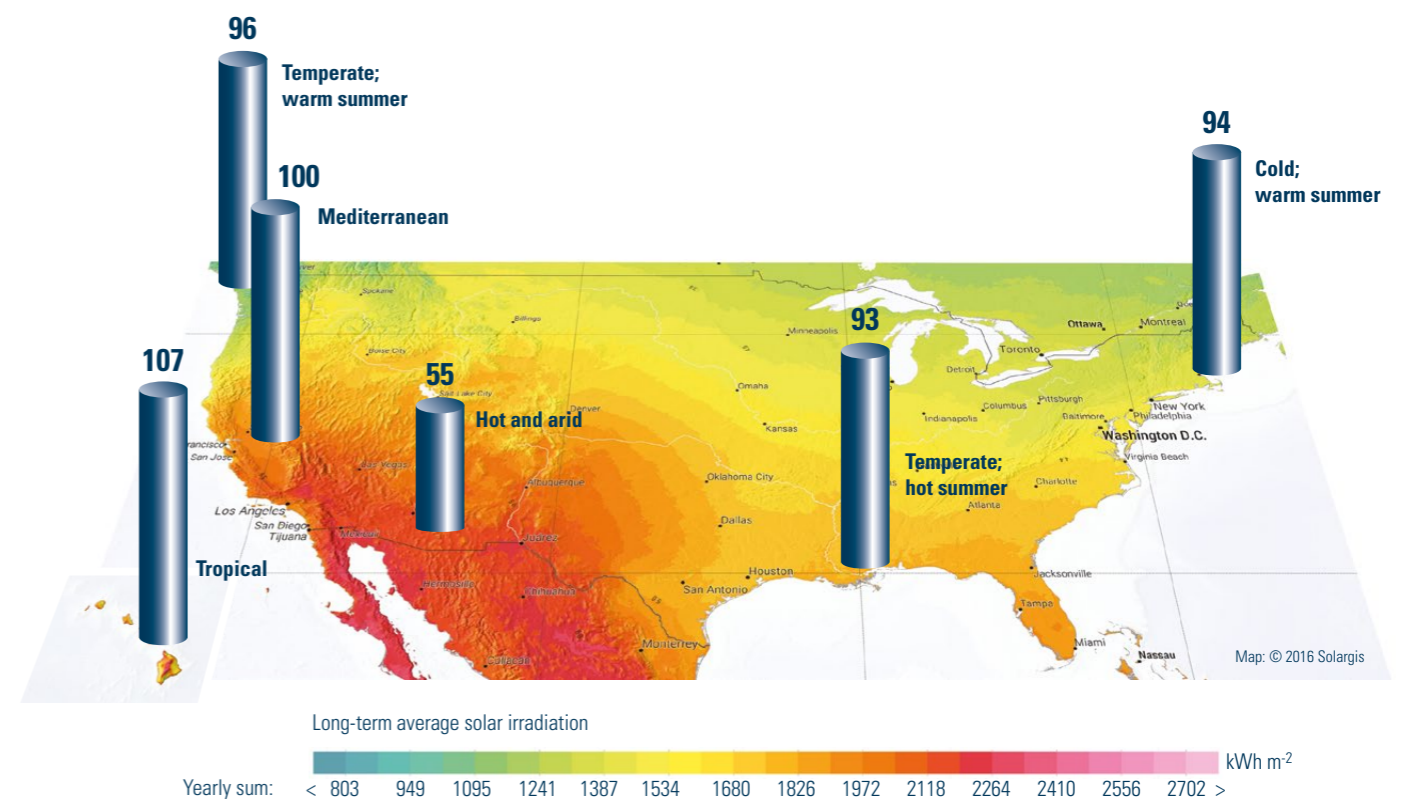
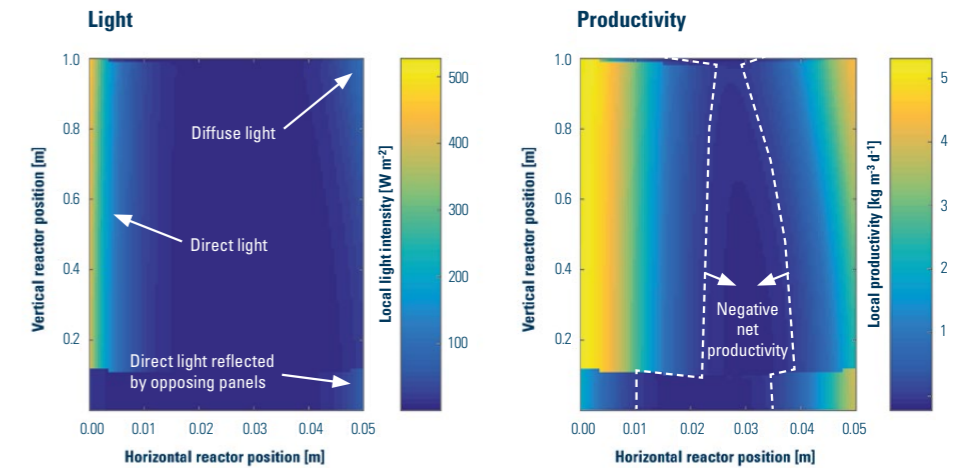
Endres, C. H.; Roth, A.; Brück, T. B. Thermal Reactor Model for Large-Scale Algae Cultivation in Vertical Flat Panel Photobioreactors. *Environ. Sci. Technol.* 2016, 50 (7), 3920–3927; DOI 10.1021/acs.est.5b05414.

► Lichtverteilung und Produktivität

Lichtverteilung (links) und daraus berechnete Algenbiomasseproduktivität (rechts) in einem Photobioreaktor (Sacramento, Kalifornien, 15. April eines typischen meteorologischen Jahres, 12:00 Uhr, Abstand der Reaktorplatten 0,50 m)

Light distribution and productivity

Light distribution (left) and resulting algae biomass productivity (right) in a photobioreactor (Sacramento, California, April 15th of a typical meteorological year, 12:00 pm, panel distance 0.50 m)



► Standortabhängige Produktivität

Potenzielle Algenbiomasseerträge für verschiedene Klimazonen am Beispiel der Vereinigten Staaten (Erträge in Tonnen pro Hektar und Jahr).

Yields with regard to the geographic location

Potential algae biomass yields for different climate zones, exemplary simulated for locations in the United States (yields in tonnes per hectare and year).

CO₂ als Rohstoff für die erneuerbare Kraftstoffproduktion

Solar- und Windenergie haben sich im Strom- und Wärmesektor als konkurrenzfähige Technologien durchgesetzt. Diese erneuerbaren Energiequellen können durch chemische Konversion von Wasser und CO₂ in synthetische Kraftstoffe auch für die Luftfahrt erschlossen werden. In unseren Systemanalysen¹⁻³ entpuppt sich die CO₂-Bereitstellung als deutlich kostenintensiver als die Wasserversorgung sowie als ein entscheidender Faktor für die Klimabilanz.

Synthetische Kraftstoffe können nur dann nachhaltig sein, wenn die bei der Verbrennung entstehende Menge CO₂ zuvor der Atmosphäre entzogen wurde. Im Umfeld der Sektorenkopplung wird lebhaft debattiert, ob sich eine vorteilhafte CO₂-Bilanz auch dann ergibt, wenn man mit erneuerbarer Energie einen Kraftstoff synthetisiert und dabei fossiles CO₂ aus Kraftwerksabgasen recycelt. Für strombasierte Kraftstoffe (PtL) lässt sich einfach zeigen, dass der erneuerbare Stromerzeugung die spezifische Stromerzeugung im Kraftwerk deutlich übertrifft. Eine nachhaltige Kraftstoffproduktion ist also bei der Nutzung dieser derzeit größten CO₂-Quelle nicht möglich.

Einige Kraftstoffprojekte können sich in der Nähe von Biomethan- oder Bioethanolanlagen ansiedeln, die schon heute zu den kostengünstigsten CO₂-Quellen zählen. Damit entfällt auch der aufwendige Transport von CO₂. Um jedoch den gesamten Kraftstoffbedarf der Luftfahrt zu decken, müsste CO₂ wohl aus der Luft abgeschieden werden. Erste Pilotanlagen dafür existieren. Es ist aber erheblicher Entwicklungsaufwand notwendig, um die erforderlichen Produktionskapazitäten zu schaffen. Langfristig schätzt das Bauhaus Luftfahrt den Anteil der CO₂-Bereitstellung aus der Luft an den Kraftstoffkosten auf 20 bis 30 Cent pro Liter.



Die Herkunft des umgesetzten CO₂ spielt eine entscheidende Rolle für die Nachhaltigkeit synthetischer Kraftstoffe.

The origin of the CO₂ feedstock is a crucial factor for the sustainability of synthetic fuels.

CO₂ as feedstock for the production of renewable fuels

Solar and wind energy are competitive technology options for the electricity and heating sector. The conversion of water and CO₂ to synthetic fuels now opens the opportunity to use these renewable energy sources to power the aviation sector. Our system analyses of renewable synthetic fuels¹⁻³ reveal that the provision of the feedstock CO₂ is much more cost-intensive than the provision of water. The CO₂ source is also a decisive parameter for the sustainability of the fuel path.

Synthetic fuels can only be sustainable if the emissions from their combustion are balanced by prior carbon capture, thus preventing further accumulation of atmospheric CO₂. In the context of carbon capture and utilisation, it is debated whether a favourable CO₂ balance can also be achieved by utilising flue gases from fossil power plants. In case of Power-to-Liquid (PtL) fuels, it is easy to show that the renewable electricity use significantly exceeds specific electricity generation in the power plant. The largest existing CO₂ source is therefore not suitable for sustainable fuel production.

Some fuel projects may be located near biogas or bioethanol plants, which are already among the most cost-effective sources of CO₂. This also eliminates the costly transport of CO₂. However, covering the entire aviation fuel demand with synthetic fuels will probably require CO₂ extraction from the atmosphere. First pilot plants for direct air capture exist, but considerable development effort is needed to establish the required production capacities. In the long term, Bauhaus Luftfahrt projects a cost contribution of 20 to 30 cents per litre of fuel for direct CO₂ air capture.

¹ Falter, C.; Batteiger, V.; Sizmann, A. Climate Impact and Economic Feasibility of Solar Thermochemical Jet Fuel Production. *Environ. Sci. Technol.* 2016, 50 (1), 470–477; DOI 10.1021/acs.est.5b03515.

² SUN to LIQUID public report: Technoeconomic and environmental analysis of CO₂ provision from various sources; Bauhaus Luftfahrt: Taufkirchen, Germany, 2018.

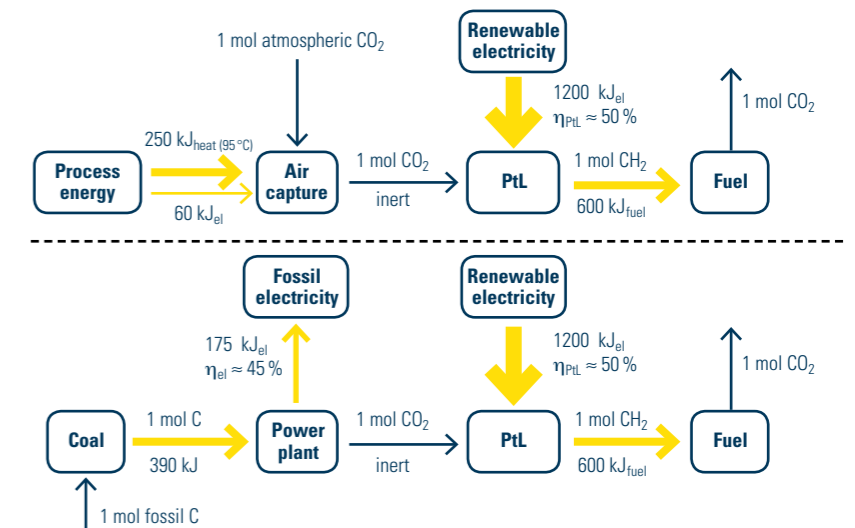
³ Schmidt, P.; Batteiger, V.; Roth, A.; Weindorf, W.; Raksha, T. Power-to-Liquids as Renewable Fuel Option for Aviation: A Review. *Chem. Ing. Tech.* 2018, 90 (1–2), 127–140; DOI 10.1002/cite.201700129.

Systemvergleich für PtL

CO₂-Bereitstellung aus der Luft (oben) und aus einem Kraftwerk (unten). Der CO₂-Kreislauf ist nur für den Lufteinfang geschlossen. Wegen der spezifischen Energiebilanz kann das Kraftwerk auch nicht als Brückentechnologie dienen.

System comparison for PtL

CO₂ supply from the air (top) and from a power plant (bottom). The carbon cycle is only closed for direct air capture. CO₂ provision from coal power plants is unsustainable due to the very unfavourable energy balance.

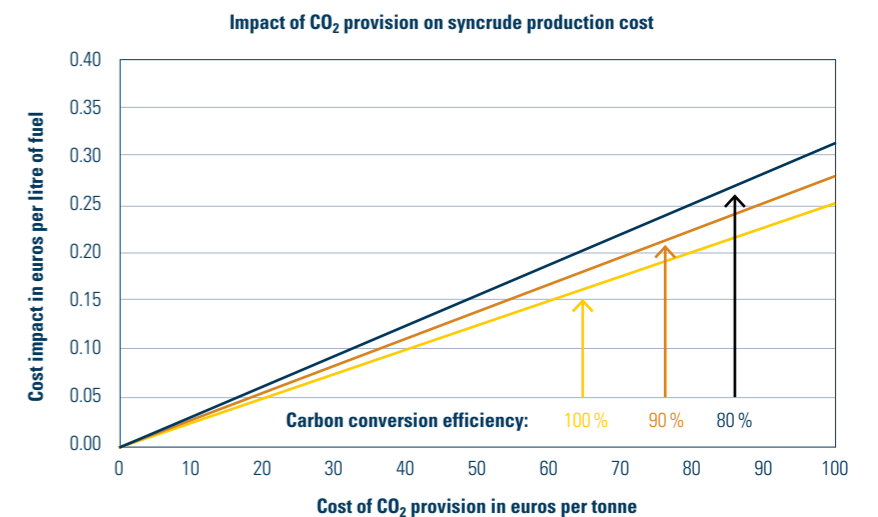


Auswirkung der CO₂-Bereitstellung auf die Kraftstoffkosten

Die CO₂-Bereitstellung aus Ethanolanlagen kostet derzeit etwa 10 EUR pro Tonne CO₂; Lufteinfang könnte langfristig für unter 100 EUR pro Tonne CO₂ möglich sein.

Contribution of CO₂ provision to the fuel costs

CO₂ supply from ethanol plants currently costs about 10 euros per tonne of CO₂; the long-term costs of direct air capture may be slightly below 100 euros per tonne of CO₂.



Dr. Arne Roth Lead Alternative Fuels

„Kohlendioxid (CO₂) ist die ultimative Kohlenstoffquelle für alle alternativen Kraftstoffe, unabhängig davon, ob es über technische Prozesse oder die natürliche Photosynthese fixiert wird. Als Voraussetzung für eine nachhaltige Kraftstoffproduktion gilt dabei, dass das CO₂ aus erneuerbaren Quellen stammen muss. Für den langfristigen Erfolg von Technologien wie Power-to-Liquid (PtL), die CO₂ in reiner Form als Rohstoff benötigen, ist daher die Entwicklung von Konzepten zur erneuerbaren Bereitstellung von CO₂ entscheidend. Deren Skalierbarkeit und lokale Verfügbarkeit müssen dem potenziellen Bedarf entsprechen. Vor diesem Hintergrund ist die CO₂-Abscheidung aus der Atmosphäre eine Schlüsseltechnologie.“

“Carbon dioxide (CO₂) is the ultimate carbon source for all alternative fuels, irrespective of whether it is converted in a technical process or assimilated via natural photosynthesis. However, truly sustainable fuel production is only possible, if the utilised CO₂ is supplied from renewable sources. For the successful industrial implementation of technologies depending on pure CO₂ as feedstock, such as Power-to-Liquid (PtL), it is therefore crucial to develop concepts enabling the renewable provision of CO₂. Scalability and local availability of such concepts thereby have to match the potential demand. In this context, CO₂ extraction from the atmosphere represents a key technology.“



Composite Cycle Engine

INTERCOOLED CCE WITH ROTARY PISTON ENGINE

The long-term emission targets of aviation require research into completely new propulsion concepts.

-0.3

Hybrid power fan drive

Thermoelectric waste heat harvesting

0.1

0.3

Der interdisziplinäre Forschungsschwerpunkt konzentriert die Forschungsarbeiten zu neuartigen auf Verbrennung basierenden und alternativen (hybrid-)elektrischen Antrieben in der Luftfahrt. Dies erweitert die Suche nach neuen Energieoptionen im Flugzeug deutlich über sogenannte Drop-in-Lösungen hinaus. Die technologischen Herausforderungen durch neue Kreisprozesse wie auch voll- oder hybridelektrische Antriebstechnik werden von den Grundlagen her aufbauend adressiert: Es werden relevante Schlüsseltechnologien identifiziert, zukünftige Potenziale von Energiewandlern bewertet sowie hybride Antriebskonzepte entwickelt und auf Flugzeugebene analysiert. Dabei arbeiten die Wissenschaftler und Ingenieure entlang der wesentlichen Fragestellungen:

- 1) Energie- und Antriebstechnologien: **Was sind die Schlüsseltechnologien?**
- 2) Energiewandler: **Was sind ihre zukünftigen Potenziale?**
- 3) Hybride Systemarchitekturen: **Wie lässt sich das Beste aus zwei Welten kombinieren?**

The interdisciplinary research focus area concentrates the research activities on novel combustion-based and alternative (hybrid-)electric motive power systems for aircraft. This extends the search for new aircraft energy options well beyond so-called drop-in solutions. The technological challenges associated with novel thermo-dynamic cycles as well as fully or hybrid-electric motive power systems are addressed from the basics upwards: Relevant key technologies are identified, future potentials for energy converters are assessed, and hybrid systems are conceptually designed and analysed at aircraft level. Therefore, scientists and engineers search answers along the main research questions:

- 1) Energy and propulsion technologies: **What are enabling key technologies?**
- 2) Energy conversion devices: **What are their future potentials?**
- 3) Hybrid system architectures: **How can the best of two worlds be combined?**

RESEARCH FOCUS AREA



energy technologies & power systems

► Thermoelektrische Abwärmenutzung am Flugtriebwerk

Im 2017 abgeschlossenen TERA-Projekt wurde untersucht, welches Kraftstoffeinsparpotenzial die Umwandlung von Triebwerksabwärme in elektrische Energie bietet. Zu diesem Zweck wurden thermoelektrische Generatoren (TEG) betrachtet, die – ohne bewegliche Teile oder Arbeitsfluide zu benötigen – über Temperaturdifferenzen Wärme in elektrischen Strom umwandeln. Die Entlastung der mechanischen Generatoren kann somit das Triebwerk effizienter machen und dem steigenden Elektrizitätsbedarf im Flugzeug entgegenkommen. Da die Umwandlung von Abwärme ein nachgeschalteter Prozess ist, lässt er sich prinzipiell auf alle Wärmekraftmaschinen, wie Flugantriebssysteme es sind, anwenden.

Für eine Auswertung wurde im Projekt ein Referenzflugzeug definiert und der Einfluss auf den Missionskraftstoffbedarf ermittelt. Am konkret betrachteten Einsatzort an der Düse wurde zwar ein positives, aber relativ geringes Potenzial im Bereich von 1 ‰ ermittelt (typische TEG-Leistung <<10 kW, siehe Abbildung rechts oben). Die zur Verfügung stehenden Flächen, das Zusatzgewicht und die lokalen Temperaturverhältnisse haben einen begrenzenden Einfluss, sodass hier noch wesentliche Optimierungspotenziale zu finden sind. Eine Möglichkeit, die sowohl bessere Temperaturbedingungen als auch höhere Leistungsdichten verspricht, ist die Berücksichtigung von im Vergleich zur Düse heißeren Bereichen im Triebwerk (siehe Abbildung rechts unten). Aus diesen und anderen Einsichten wurden Handlungsempfehlungen für notwendige Schritte in der Technologieentwicklung abgeleitet, die im Projektbericht in Form einer F&E-Roadmap festgehalten worden sind.



Das LuFo-TERA-Projekt wurde im Rahmen des LuFo-Programms von 2014 bis 2017 unterstützt.

The LuFo TERA project was supported by the LuFo programme from 2014 to 2017.



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Das zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 20E1303 gefördert.

Thermoelectric waste heat harvesting in aero engines

In the LuFo TERA project, which was completed in 2017, the potential of mission fuel savings by transforming engine waste heat to electrical power was investigated. To this end, thermoelectric generators (TEG) were considered, which – without the need for moving parts or working fluids – convert a heat flux over a thermal gradient to an electric current. The load reduction on the conventional generators leads to higher engine efficiency and supports the progressive electrification of aircraft. As the conversion of waste heat is a downstream process, it may, in principle, be applied to any type of heat engine, including aero engines.

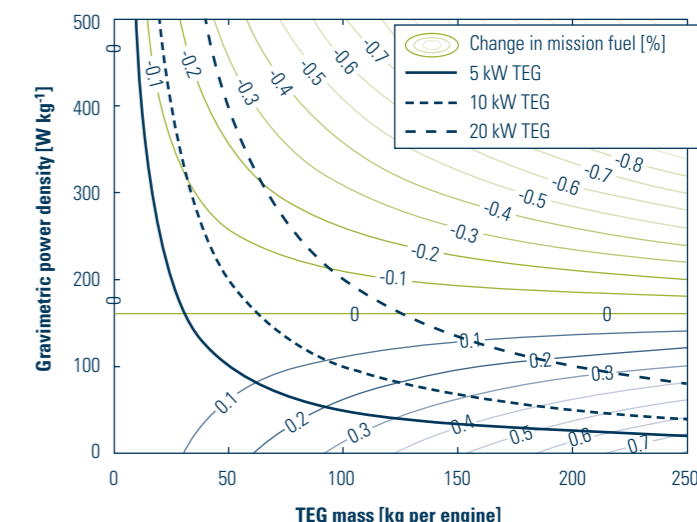
In order to evaluate the technology, a reference aircraft was defined to determine the impact on mission fuel consumption. At the considered place of installation, a positive, but small potential of the order of 1 ‰ was determined (typical TEG power << 10 kW, see top figure right). The area available for integration, system mass as well as local thermal conditions all have an influence on the overall potential, so these factors may be further optimised. One option that promises improved thermal conditions as well as higher output power densities is to consider placement within the hotter engine sections (see bottom figure right). Based on these and other insights, recommended actions for technology development were derived, which were recorded in the form of an R&D roadmap as part of the project report.

► Einsparpotenzial auf Missionsebene

Die benötigte Leistungsdichte liegt unter 200 W kg^{-1} , während TEG-Module bis zu 500 W kg^{-1} erreichen. Ein theoretisches TEG mit 10 kW Ausgangsleistung pro Triebwerk würde ca. 1 ‰ einsparen.

Mission fuel savings potential

The minimum required power density is below 200 W kg^{-1} , whereas TEG modules may provide up to 500 W kg^{-1} . A theoretical TEG with 10 kW output power could reduce mission fuel by around 1 ‰.

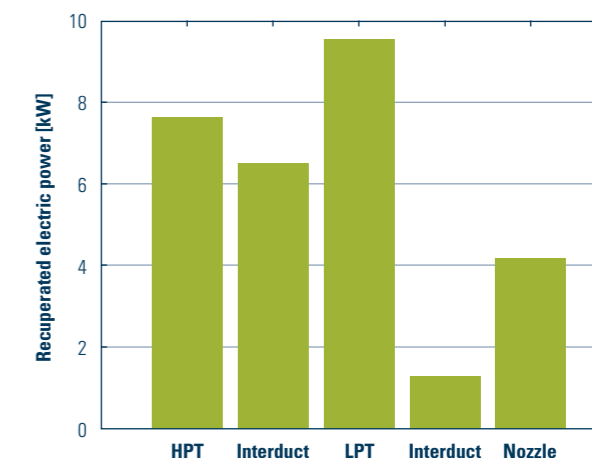


► Potenzial für thermoelektrische Abwärmenutzung auf Triebwerksebene

Für definierte Abschnitte im Triebwerk wurde die erreichbare Leistung anhand von Strömungssimulationen ermittelt (H/LPT: High-/Low-Pressure Turbine). An der Düse wurde eine nutzbare Fläche von $2,4 \text{ m}^2$ angenommen.

Potential for thermoelectric energy harvesting on engine level

For defined sections within the engine, the achievable power was determined based on fluid mechanics calculations (H/LPT: High-/Low-Pressure Turbine). At the nozzle, an area of 2.4 m^2 was assumed in this case.



Dr. Holger Kuhn Co-lead Energy Technologies and Power Systems

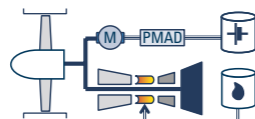
Effizienzsteigerung und Gewichtsreduktion sind zwei wichtige Stellschrauben, um den Gesamtkraftstoffbedarf zu reduzieren. Beides kann mit zukünftigen elektrischen Subsystemen erreicht werden, die zunehmend die hydraulischen und pneumatischen Subsysteme verdrängen werden. Die Anforderungen und auch der Bedarf an elektrischer Energie steigen, und es gilt zu hinterfragen, inwiefern mit den üblichen Generatoren die Emissionsreduktionsziele zu erreichen sind. Neue und kreative Ideen, wie die elektrische Energieversorgung sichergestellt werden kann, sind gefragt. Dezentrale und bisher ungenutzte Energiepotenziale im Flugzeug werden in Zukunft immer wichtiger werden.

Increasing efficiency and reducing weight are two important factors in reducing total fuel consumption. Both may be achieved with future electrical subsystems that will increasingly displace the classic hydraulic and pneumatic subsystems. The requirements and the demand for electrical energy are increasing, and it is necessary to question to what extent the emission reduction targets can be accomplished with the usual generators. New and creative ideas are in demand in order to secure the electrical energy supply. Decentralised and previously unused energy potentials in the aircraft will become increasingly important in the future.

Hybrider Fanantrieb – Abschluss einer Konzeptstudie

Die Verwendung elektrischer Energie als Leistungsquelle innerhalb einer Fluggasturbine eröffnet vielfältige konzeptionelle Gestaltungsmöglichkeiten. Im Rahmen des EU-FP7-Projektes ENOVAL hat das Bauhaus Luftfahrt eine Studie zu mechanisch integrierten parallel-hybriden Turbofantriebwerken (MIPH) abgeschlossen. Durch einen strukturierten Auswahlprozess wurde die vielversprechendste Triebwerksarchitektur für einen MIPH bestimmt und auf einen Antrieb für ein Kurzstreckenflugzeug angewendet. Der elektrische Systemaufbau und die wichtigsten elektrischen Komponenten sowie das Triebwerk selbst wurden unter Berücksichtigung relevanter Installationseffekte auf Flugzeug-ebene ausgelegt.

Um bei Ausfall des elektrischen Systems das Triebwerk weiterhin konventionell betreiben zu können, wurde ein Hybridisierungsgrad von 10% im Auslegungspunkt des Strömungspfad als realisierbar identifiziert. Die Untersuchungen verdeutlichen darüber hinaus, dass die Aerodynamik der Turbokomponenten genau auf das elektrische System abgestimmt werden muss, um das gesamte Verbesserungspotenzial bei voller operationeller Flexibilität zu gewährleisten. Bei einer Auslegungsmi-sion von 500 NM wurde unter der Annahme einer spezifischen Energiedichte von Batterien von 1000 Wh kg^{-1} als mittel- bis langfristige Zielgröße für die MIPH-Technologie eine Kraftstoffeinsparung von 3,5% errechnet. Die Auswertungsergebnisse zeigen, dass die alleinige Nutzung der elektrischen Effizienzvorteile in MIPH-Antrieben die nötigen Verbesserungen auf Flugzeugebene nicht liefern wird. Der Schlüssel zur Erreichung signifikanter Verbesserungen liegt in einer synergetischeren Antriebssystemintegration.



Schemadarstellung eines mechanisch integrierten parallel-hybriden Flugantriebssystems (MIPH)

Basic schematic of a mechanically integrated parallel hybrid (MIPH) propulsion system

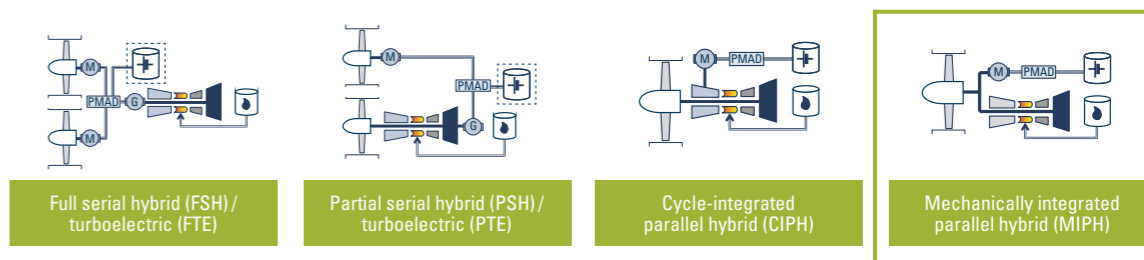


This project has received funding from the European Union's 7th Framework Programme for research, technological development and demonstration under grant agreement No. 604999.

Hybrid power fan drive – results of a conceptual study

The introduction of electrical power supply to an aircraft propulsion system offers a wide design space for system architectures. Within the EU FP7 project ENOVAL, Bauhaus Luftfahrt has completed the concept study of a mechanically integrated parallel hybrid electric (MIPH) turbofan. Through a methodical downselection procedure, a most promising power plant system architectural concept was identified and conceptually elaborated for a short-range aircraft application. Therefore, the basic power plant, the electric systems architectural layout, and major electrical components were defined and important airframe integration aspects were evaluated.

Taking into account power plant operational robustness in case of electric system failure, a design degree of power hybridisation of 10% at flow path sizing conditions was found to be most suitable for an MIPH turbofan. The analysis clearly indicates the necessity of specialised turbo component aerodynamic design, in order to realise the full potential of efficiency gain and MIPH turbofan operational flexibility. The integrated system assessment at aircraft level was performed for various design range requirements. Based on an advanced mid- to long-term battery specific energy target of 1000 Wh kg^{-1} , the design fuel benefit for the MIPH technology on a 500 NM design range yielded 3.5%. The evaluation result shows that the efficiency benefit of electrical power systems alone will not be able to deliver the required improvements for MIPH systems at aircraft level. Key to achieving major improvements is a more synergistic systems design integration.

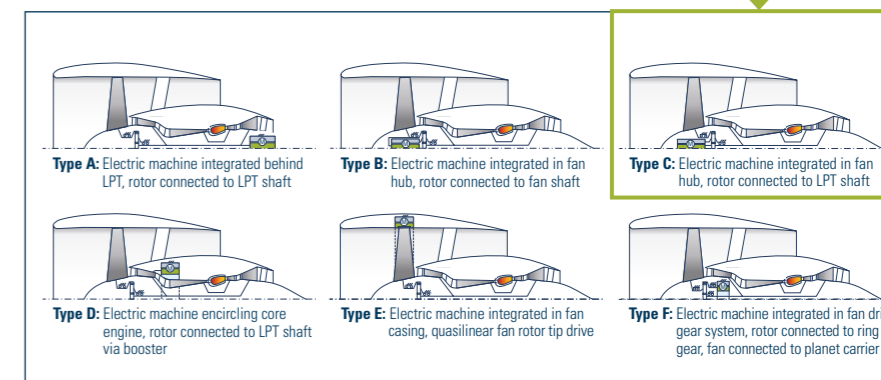


Hybridelektrische Antriebssystemkonzepte

Konzeptstudie eines mechanisch integrierten parallel-hybriden Turbofanantriebes: Auswahl und Studienfokus

Hybrid electric propulsion system concepts

Concept study of a mechanically integrated parallel hybrid electric turbofan engine: downselection and focus of study

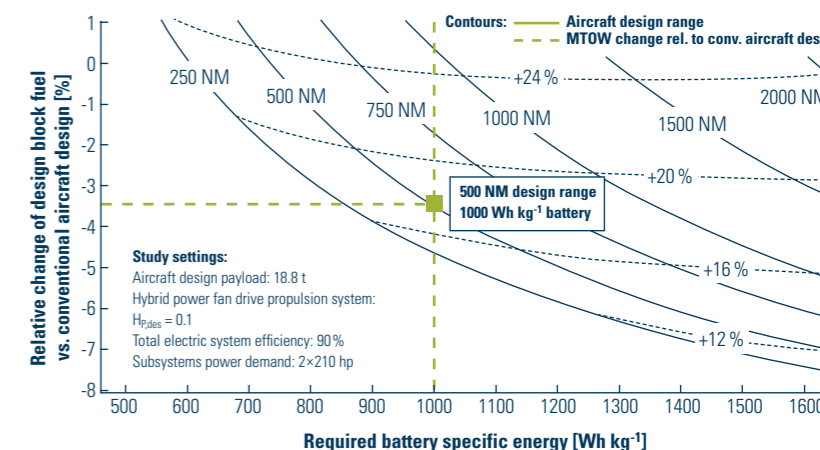


Kraftstoffbewertung für einen MIPH-Turbofan

Bewertung des Missionskraftstoffverbrauchs für Kurzstreckenflugzeuge mit mechanisch integriertem parallel-hybriden Turbofanantrieb

Fuel burn assessment for MIPH turbofan

Assessment of mission fuel consumption for short-range aircraft powered by chart for mechanically integrated parallel hybrid electric turbofan engines



Dr. Arne Seitz Co-lead Energy Technologies and Power Systems

Die Studie zum parallel-hybriden Turbofanantrieb zeigt: Ohne die Ausnutzung von Synergien zwischen Antrieb und Zelle wird die Elektrifizierung von Transportflugzeugen kaum entscheidende Verbrauchsreduktionen bringen. Die Suche nach Sweet Spots im weiten Feld der Integrationsmöglichkeiten elektrifizierter Antriebe ist in vollem Gang. Wir glauben, dass das Konzept eines „Propulsive Fuselage“ mit turboelektrisch angetriebenem Rumpf-Fan ein solcher Sweet Spot ist. Hier werden die Vorteile der Schubzeugung im Flugzeugnachlauf mit der Flexibilität der gesamtsystemischen Integration durch elektrische Leistungsübertragung optimal kombiniert. Zudem ist eine Kombination mit hocheffizienten Triebwerken etwa mit „Composite Cycle“ denkbar.

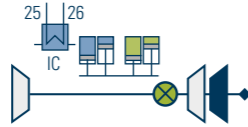
The study on parallel hybrid turbofan propulsion shows: Without the exploitation of synergies between propulsion and airframe, the electrification of transport aircraft will hardly bring about any significant reductions in fuel consumption. The search for sweet spots in the wide range of integration options for electrified propulsion systems is in progress. We believe that the concept of a Propulsive Fuselage with a turboelectrically driven fuselage fan is such a sweet spot. Here, the advantages of thrust generation in the aircraft wake are optimally combined with the flexibility of overall system integration through electrical power transmission. A combination with high-efficiency power plant concepts, such as the Composite Cycle Engine, is also conceivable.

„Composite Cycle Engine“-Konzeptualisierung und -Potenzial

Das „Composite Cycle Engine“-Konzept (CCE) führt Kolbenmaschinen in das Kerntriebwerk von Flugantrieben ein. Die Kolbenmaschinen ermöglichen durch ihr instationäres Betriebsverhalten höhere Spitzendrücke und -temperaturen mittels isochor/isobarer Verbrennung bei gleichzeitig reduzierten Verdichtungsverlusten infolge der hocheffizienten Verdichtung in geschlossenen Volumina. Im Vergleich verschiedener Kolbenmaschinentypen (Hub- und Rotationskolbenmaschine) sowie Betriebsmodi (4-Takt- und 2-Takt-Motor) zeichnet sich das 4-Takt-Hubkolbenkonzept aufgrund sehr guten Ladungswechselerhaltens und niedrigeren Prozesstemperaturen als bevorzugtes Kolbenkonzept aus.

Für Kombinationen der CCE mit Wärmetauschern kann – bezogen auf die Gesamteffizienz – kein positives Potenzial identifiziert werden. Durch die Verwendung eines Zwischenkühlers können jedoch der Volumenstrom und somit die Größe und das Gewicht des Kolbensystems reduziert werden. Insgesamt ergibt sich ein leichter Vorteil im Verbrauch. Für die Wärmerückgewinnung kann kein ausreichendes Potenzial entdeckt werden, das die zusätzliche Komplexität eines Rekuperators rechtfertigen würde.

Die Anwendung auf der Langstrecke verspricht größere Verbesserungen im Kraftstoffverbrauch als auf der Kurzstrecke. Einerseits führen lange Missionen zu stärkeren Kaskadeneffekten auf Verbesserungen der Triebwerkeffizienz. Andererseits fällt die höhere Triebwerksmasse bei den aerodynamisch effizienteren Langstreckenfliegern weniger ins Gewicht. Die Leistung der Kolben-einheit kann durch die Anzahl an Kolben skaliert werden. Diese Herangehensweise erlaubt Kommutalität über Triebwerksfamilien hinweg.



Schematische Darstellung des Aufbaus einer „Composite Cycle Engine“ mit Zwischenkühler
Basic schematic of the general arrangement of an intercooled Composite Cycle Engine



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No. 604999.



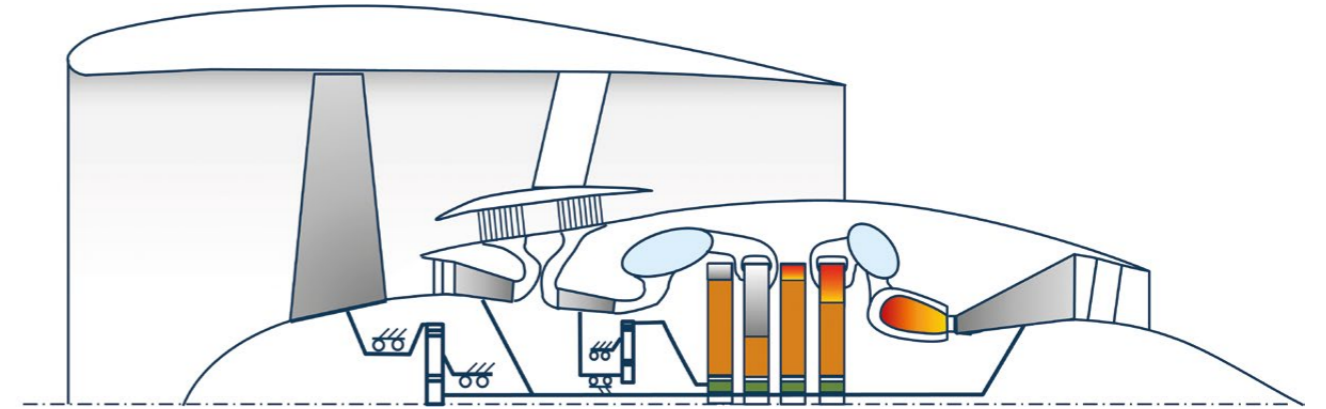
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Das zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 20E1505G gefördert.

Composite Cycle Engine conceptualisation and performance potential

The Composite Cycle Engine (CCE) concept incorporates piston engines to the core of an aircraft turbo engine. The piston engines enable higher peak pressures and temperatures within the core engine by using isochoric-isobaric combustion. Additionally, compression losses reduce due to highly efficient closed volume compression. Based on a comparison of different types of piston engines (reciprocating and rotary piston engines) as well as operating modes (four-stroke and two-stroke engines), the four-stroke reciprocating piston engine concept is identified to be the most promising candidate. Lower working frequency compared to two-stroke engines is compensated by more efficient scavenging behaviour. Efficiency of reciprocating piston engines beats rotary engines' efficiency due to higher feasible peak pressures and less heat losses.

Combining CCEs with heat exchanges does not lead to improvements in engine efficiency. Nevertheless, volume flow and therefore piston engine size and weight can be reduced by the use of intercoolers. No significant potential can be found to recover heat from the exhaust by using recuperators in various system configurations.

The application to the long range rather than the short range promises higher improvements in fuel consumption. On the one hand, long missions lead to larger cascading effects due to efficiency improvement. On the other hand, the incremental weight has a lower detrimental impact on the aerodynamically more efficient long-range aircraft. The power of the piston unit can be scaled with the number of pistons, thus enhancing communality across engine families.



Zwischengekühlte CCE mit Rotationskolbenmaschine

Schematische Darstellung eines CCE-Triebwerkaufbaus mit Zwischenkühler und Rotationskolbenmaschine

Intercooled CCE with rotary piston engine

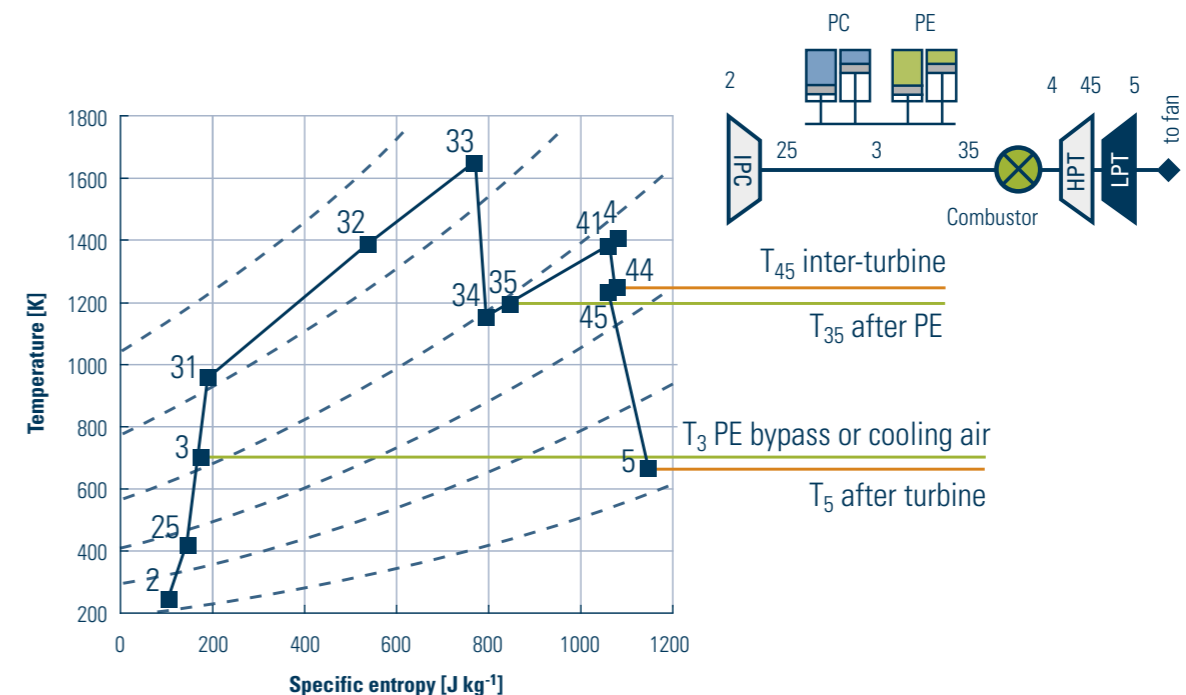
Basic schematic of the general arrangement of an intercooled Composite Cycle Engine with rotary piston engine

Temperaturniveaus im „Composite Cycle“

Die Zyklusrechnung zeigt, dass die typischen Temperaturniveaus im „Composite Cycle“ ungünstig sind für die Nutzung von Rekuperation zur Steigerung der Effizienz.

Composite Cycle temperature levels

Thermodynamic cycle calculation indicates that, in case of the Composite Cycle, typical temperature levels for recuperation are not appropriate to increase efficiency.

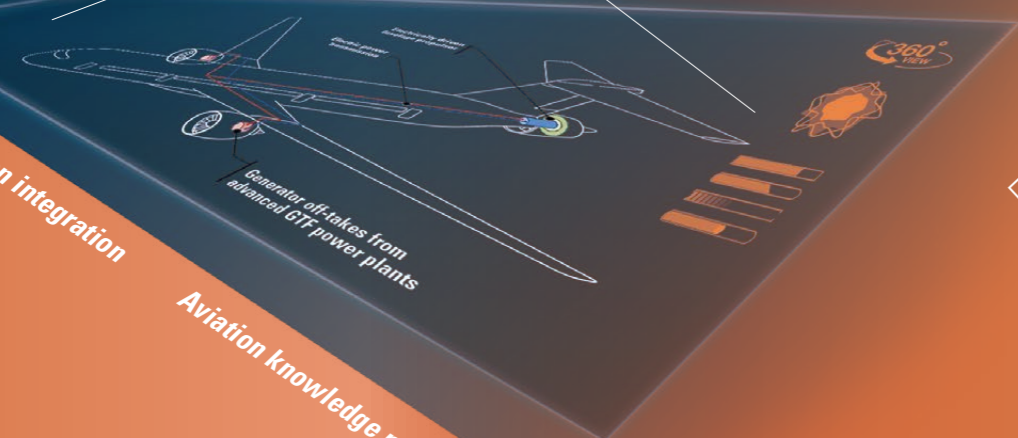


“
With collaborative design methods, we can unlock the full potential of technologies on aircraft level.



Wake-filling propulsion integration

Aviation knowledge management



Die Systeme und ihre technologischen Potenziale im Flugzeug stehen im Fokus der Arbeiten im Forschungsschwerpunkt „System- und Flugzeugtechnologien“. Experten aus unterschiedlichen Disziplinen wirken hier zusammen, um die Flugzeugeffizienz weiter zu verbessern, Emissionen zu reduzieren und neue Ansätze für die Flugzeugentwicklung zu erarbeiten. Die betrachteten Emissionen beinhalten klimatische Auswirkungen in Verbindung mit dem Kraftstoffverbrauch des Flugzeuges sowie Lärmbewertungen. Des Weiteren werden auch die Flugzeugsysteme detailliert untersucht und alternative Architekturen inklusive Sensitivitäten gegenüber Änderungen durch unkonventionelle Aspekte modelliert. So sind in dieser Forschergruppe wichtige Ergebnisse zur besseren Antriebs-Aerodynamik-Wechselwirkung und zur grundlegenden Integration hybrider Antriebe erzielt worden.

RESEARCH FOCUS AREA



systems & aircraft technologies

Research in aircraft systems and their technological potentials is the focus of the “Systems and Aircraft Technologies” research focus area. Experts from different disciplines collaborate together to target aircraft efficiency improvements, to develop new aircraft design approaches, and to reduce emissions. The emissions cover environmentally relevant exhausts, which are closely linked to aircraft fuel consumption, as well as noise impacts. The aircraft systems themselves are also actively investigated and architectural alternatives are modelled, including sensitivities to the changes introduced by unconventional aspects. Important results for improved propulsion-airframe integration and integrated concepts for hybrid propulsion systems could be shown.

Luftfahrt-Wissensmanagement für Industrie 4.0

Im LuFo-Projekt EFFPRO_4.0 arbeitet das Bauhaus Luftfahrt mit Organisationen aus Forschung und Industrie an der Digitalisierung industrieller Prozesse im Luftfahrtbereich. EFFPRO_4.0 erforscht neuartige Lösungen für zwei Hauptphasen der Produktion. Für die Entwicklungsphase werden Innovationsfelder, wie beispielsweise Hardware in the Loop, semantische Technologien, intelligente Entwicklungsverifikation und Prozesskettenintegration, untersucht. Automatische visuelle Inspektion und Big-Data-Anwendungen in Fertigung und Montage sind Gegenstand weiterer Arbeitspakete im Projekt.

In EFFPRO_4.0 werden semantische Technologien in einer Wissensmanagementanwendung eingesetzt, die die Wiederverwendung von Unternehmenswissen durch heterogene Datenintegration unterstützt. Dieser Prototyp bietet Benutzern während der Texteingabe relevante Verweise auf technische Dokumente (z. B. Bauteilspezifikationen, Arbeitsnormen usw.) sowie auf nicht-textuelle Daten (z. B. Komponenten- und CAD-Modelle).

Ende 2017 wurde eine Beta-Version des Prototyps mit dem Fokus auf Textdaten von Endbenutzern getestet. Eine erste Bewertung bestätigte das Potenzial des Ansatzes und identifizierte drei Bereiche für mögliche Verbesserung: erhöhte Spezifität der Ontologie, bessere Nachvollziehbarkeit von Suchergebnissen sowie ein besseres Zusammenspiel von Keyword- und ontologiebasierter Suche.

Zukünftige Arbeiten umfassen die Integration von semantischem Tagging nicht-textueller Modelldaten mithilfe eines am Bauhaus Luftfahrt im Projekt SYM04PD (2015–2017) entwickelten Softwareprototyps. Das Gesamtsystem wird danach erneut einer abschließenden Bewertung unterzogen.



Industrie 4.0 ermöglicht die Wiederverwendung von Unternehmenswissen durch heterogene Datenintegration.

Industry 4.0 enables corporate knowledge reuse by integrating heterogeneous data.



Die zugrunde liegenden Vorhaben wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter den Förderkennzeichen 20Y1509E und 01FS14026 gefördert.

Aviation knowledge management for Industry 4.0

Bauhaus Luftfahrt is collaborating with scientific and industrial organisations in the LuFo project EFFPRO_4.0, which investigates the digitalisation of industrial processes in the aviation sector. EFFPRO_4.0 explores novel solutions for two main phases of manufacturing. On one side, new approaches, such as hardware in the loop, semantic technology, intelligent development verification, and process chain integration, are being researched for the development phase; on the other side, automatic visual inspection and big data applications are being explored in innovative software applications for production and assembly.

In EFFPRO_4.0, semantic technology is applied within a knowledge management architecture that supports the reuse of corporate knowledge by heterogeneous data integration. This prototype dynamically provides technical users of a text editor with relevant references to textual data (e.g., text files of design descriptions, work norms etc.) as well as non-textual data (e.g., component / CAD models).

At the end of 2017, a beta version of the prototype with a focus on textual data was tested by end users. This first evaluation confirmed the soundness of the approach and identified three areas of possible improvement: increased specificity of the ontology, increased traceability of search results, and improved interplay between keyword- and ontology-based search.

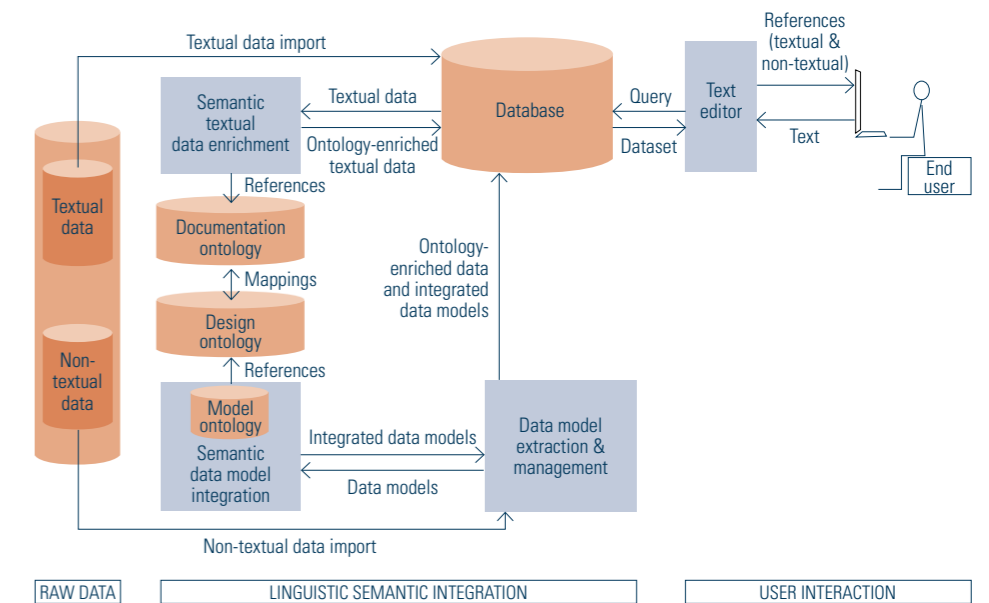
Future work includes the semantic tagging of non-textual model data, achieved by applying technology developed at Bauhaus Luftfahrt during the project SYM04PD (2015–2017), as well as the final evaluation of the overall updated prototype.

Architektur zur Wiederverwendung von Unternehmenswissen

Heterogene Daten werden durch semantische Module integriert, sodass ein Benutzer eines Texteditors (End user) dynamisch auf relevante diverse Daten zugreifen kann.

Architecture for the reuse of corporate knowledge

Semantic modules, allowing a user of a text editor (end user) to be dynamically referred to relevant diverse data, integrate heterogeneous data.

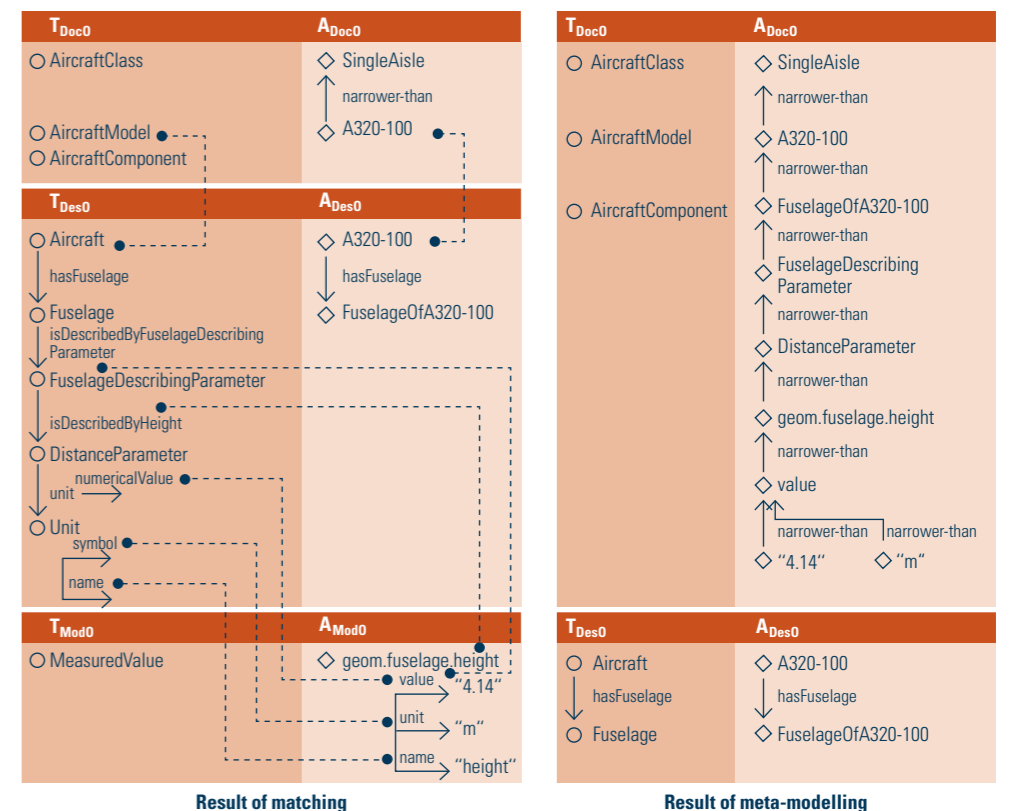


Angleichung der Ontologien

Die Dokumentations-, Design- und Modellontologien, die von den semantischen Modulen verwendet werden, müssen aufeinander abgestimmt (links) und auf die gleiche Abstraktionsebene gebracht werden (rechts).

Harmonisation of ontologies

The documentation, design, and model ontologies used by the semantic modules need to be aligned (left) and brought to the same abstraction level (right).



Turboelektrische Antriebsintegration mit „Wake filling“

Im Juni 2017 wurde das von der Europäischen Union im Rahmenprogramm Horizon 2020 geförderte Forschungsprojekt CENTRELINE erfolgreich gestartet. Das vom Bauhaus Luftfahrt koordinierte Konsortium umfasst insgesamt neun Partner, darunter Industrieunternehmen, Universitäten und einen Partner für Projektmanagement. Ein technisches Beratungsgremium, bestehend aus Experten der Industrie und Forschungseinrichtungen, begleitet das Projekt. CENTRELINE hat sich zum Ziel gesetzt, die Vorteile des „Wake filling“-Effektes unter realistischen Auslegungskriterien und Betriebsbedingungen zu maximieren. Das zu untersuchende „Propulsive Fuselage Concept“ realisiert die Kompensation des Impulsverlustes im Nachlauf des Rumpfes durch einen turboelektrisch angetriebenen Propulsor, der im Heck installiert ist und dessen Zweck die Einsaugung der Rumpfgrenzschicht ist. Ziel des Projektes ist es, den Machbarkeitsnachweis dieses neuartigen Ansatzes zur synergetischen Antriebsintegration zu erbringen und durch erste experimentelle Untersuchungen die technologische Reife des Konzepts erheblich zu erhöhen. Die Schwerpunkte der aerodynamischen Untersuchungen liegen auf Strömungssimulationen der Konfiguration, die durch eine Windkanaltestkampagne ergänzt werden. Darüber hinaus wird das Betriebsverhalten des Rumpfantriebes numerisch und experimentell untersucht. Alle detaillierten Simulations- und Testergebnisse fließen kontinuierlich in einen flugzeugintegrierten Auslegungs- und Optimierungsprozess ein. Dies ermöglicht schließlich den Vergleich mit einer ähnlich fortschrittlichen, konventionellen Referenzkonfiguration. Das Projekt hat eine Laufzeit von 36 Monaten.



CENTRELINE, „ConcEpt validation sTudy foR fusElage wake-filLing propulsioN intEgration“



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No. 723242.

Turboelectric fuselage wake-filling propulsion integration

In June 2017, the European Union-funded Horizon 2020 research project CENTRELINE was successfully launched. Coordinated by Bauhaus Luftfahrt, the project consortium comprises nine partners, including industry companies, universities, and a management consulting partner. The consortium is accompanied by a technical advisory board of experts from industrial stakeholders and research organisations. CENTRELINE aims at maximising the benefits of aft-fuselage wake filling under realistic systems design and operating conditions. The Propulsive Fuselage Concept to be investigated implements wake filling through a turboelectrically driven propulsor installed at the fuselage aft-end, intended to ingest the fuselage boundary layer. As a primary project goal, CENTRELINE will perform the proof of concept and initial experimental validation of this novel approach towards synergistic propulsion/airframe integration, thereby maturing this technology significantly. Key aspects of the aerodynamic work will include comprehensive numerical flow simulations of the configuration accompanied by a wind tunnel test campaign. Moreover, the performance of the fuselage propulsor will be numerically and experimentally investigated. All detailed design, simulation, and experimental results are continuously fed into an aircraft integrated sizing and optimisation process. Finally, a comprehensive concept benchmark and assessment against similarly advanced conventional technology will be performed. The project has a duration of 36 months.

Darstellung des „Propulsive Fuselage Concept“

Das untersuchte Konzept sieht einen im Rumpheck installierten Antrieb vor, dessen Aufgabe die Auffüllung des durch Reibung induzierten Impulsdefizits im Nachlauf darstellt.

Artist view of the Propulsive Fuselage Concept

This concept investigated in CENTRELINE features an aft-fuselage installed propulsor intended to ingest and reenergise the viscosity-induced low momentum fuselage wake flow.

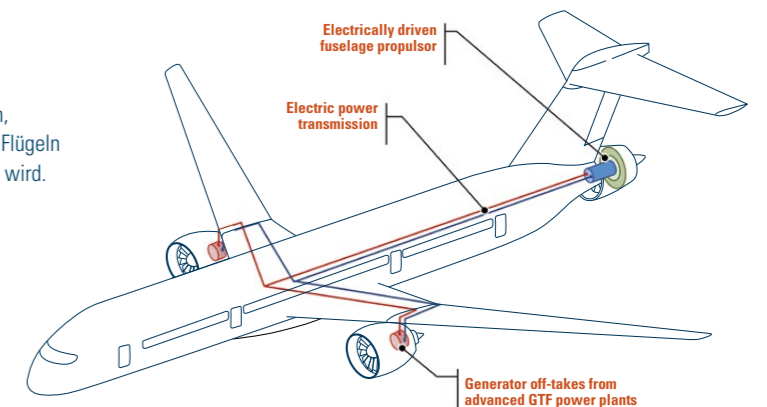


Grundsätzliche Flugzeugkonfiguration und turboelektrischer Antriebsstrang

Der Rumpfantrieb wird von einem elektrischen Motor angetrieben, dessen aufgenommene Leistung über Generatoren den unter den Flügeln installierten fortschrittlichen Getriebefantriebwerken entnommen wird.

Basic aircraft layout and turboelectric powertrain arrangement

The fuselage propulsor is powered by an electric motor, where the power is supplied by generators attached to two underwing podded advanced Geared TurboFan (GTF) power plants.



Fabian Peter Lead Systems and Aircraft Technologies

“CENTRELINE zeigt die Notwendigkeit, neuartige Antriebsarchitekturen auf einer integrierten Ebene zu bewerten. Integration ist nicht nur für das technische Konzept, sondern auch für das Zusammenspiel der beteiligten Partner erforderlich. Das Bauhaus Luftfahrt setzt seine multidisziplinären Fähigkeiten ein, um die Erkenntnisse des Konsortiums in einen übergeordneten Rahmen zu bringen. Nur durch die Zusammenstellung dieser heterogenen Informationen kann das volle und realistische Potenzial bewertet werden. Zu diesem Zweck setzt CENTRELINE modernste Datenaustauschplattformen, fernzugängliche Frameworks und neu entstandene Schnittstellen ein.

“The CENTRELINE approach shows the necessity to assess novel propulsion architectures on an integrated level. The integration is not only mandatory for the technical concept, but also for the interaction of the involved partners. Bauhaus Luftfahrt applies its multidisciplinary capabilities in this context to integrate the findings of the whole consortium in an integrated framework. Only by composing this heterogenic information, the full and realistic potential of the concept can be evaluated. For this purpose, CENTRELINE is applying state-of-the-art data exchange platforms, remotely accessible frameworks, and emerging interface standards.



5,500,000
 5,000,000
 4,500,000
 4,000,000
 3,500,000
 3,000,000
 2,500,000
 2,000,000
 1,500,000
 1,000,000
 500,000

Finances
 Personnel
 Students
 Doctorands
 Junior academics
 Expert lectures
 Publications
 Post doctorands
 Media coverage

facts & figures



Finanzen

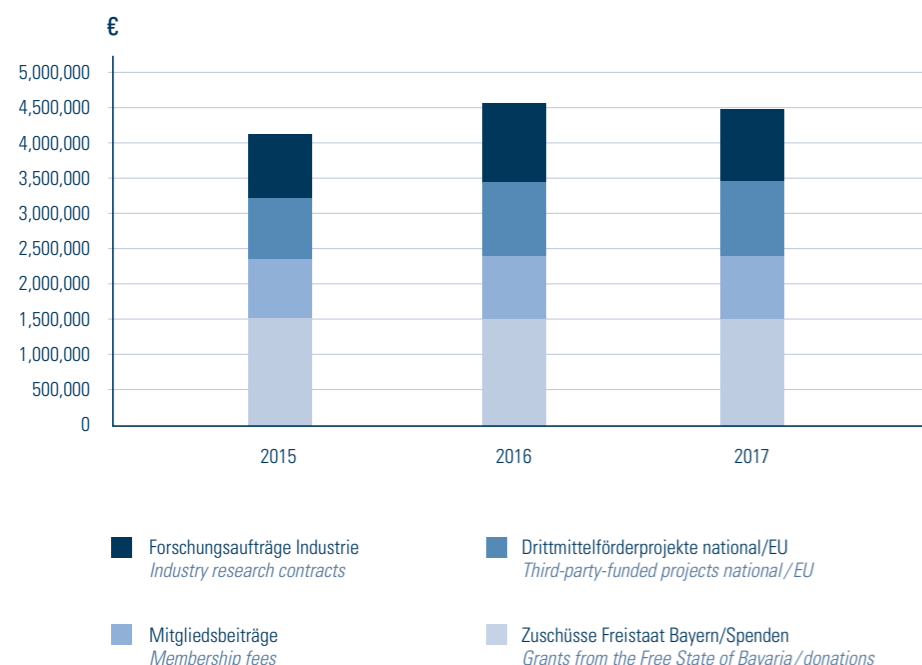
Im Geschäftsjahr 2017 sind die Erträge des Bauhaus Luftfahrt unter Berücksichtigung der Bestandsveränderungen für unfertige Leistungen auf dem Vorjahresniveau von 4,5 Millionen EUR geblieben. Aus Aufträgen und Kooperationen mit Industriepartnern konnten Umsätze in Höhe von 210.000 EUR nicht mehr in 2017 realisiert werden, da die Abnahmen in 2018 erfolgten. Die Erträge mit Industriepartnern sind aufgrund eines moderaten Auftragsrückgangs zum Vorjahr um 98.000 EUR gesunken (-11,4%). Die Drittmittel-einnahmen sind im Jahr 2017 leicht um 76.000 EUR gestiegen (+9,0%). Die Steigerung der Erträge ist im Wesentlichen auf zwei neu gewonnene EU-Projekte sowie eine vom Bund beauftragte Studie zurückzuführen.

Für das Jahr 2018 erwartet das Bauhaus Luftfahrt einen weiteren deutlichen Anstieg bei den Drittmittel-einnahmen. Die Steigerung ist auf fünf neue nationale Förderprojekte sowie die in 2018 volle Ertragswirksamkeit unterjährig in 2017 angelaufener EU-Projekte zurückzuführen.

Finances

In the fiscal year 2017, earnings of Bauhaus Luftfahrt remained at previous year's level of 4.5 million euros, taking into account the changes in inventories of work in progress. Revenues from orders and cooperations with industrial partners of 210,000 euros could not be realised in 2017 because deliverables were approved in 2018. Revenues from industrial partners decreased by 98,000 euros (-11.4%) due to a moderate decline in orders compared to the previous year. Funding from third-party projects rose slightly by 76,000 euros (+9.0%). The increase in revenues mainly results from two new EU projects and an expert's report commissioned by the federal government.

For the year 2018, Bauhaus Luftfahrt further expects a distinct increase of third-party projects. The increase results from five new national funded projects as well as the full impact on earnings of EU projects launched in 2017 during the course of the year.



Personal

Das Wirtschaftsjahr 2017 war durch ein erneut starkes Personalwachstum gekennzeichnet. Aufgrund der stabilen Auftragslage konnte das Bauhaus Luftfahrt im wissenschaftlichen Bereich 5 Mitarbeiter zusätzlich einstellen und beschäftigte zum Jahresende 52 Mitarbeiter. Von den 36 wissenschaftlichen Mitarbeitern sind 17 promoviert und 10 weiblich. Hinzu kommen 3 Stipendiaten des Stipendienprogrammes von Munich Aerospace – Fakultät für Luft- und Raumfahrt e. V., die im interdisziplinären Forschungsnetzwerk ihre Promotion erstellen. Die mit zum Jahresende 10 Studenten hohe Anzahl der eingesetzten studentischen Mitarbeiter und Praktikanten sowie weitere 3 Verfasser von Abschlussarbeiten bestätigen zum wiederholten Mal, dass das Bauhaus Luftfahrt für den Akademikernachwuchs ein interessanter und perspektivenreicher Einsatzort ist – temporär zur Erstellung einer Abschlussarbeit, für Praktikanten oder wissenschaftliche Hilfskräfte oder längerfristig als möglicher attraktiver späterer Arbeitgeber.

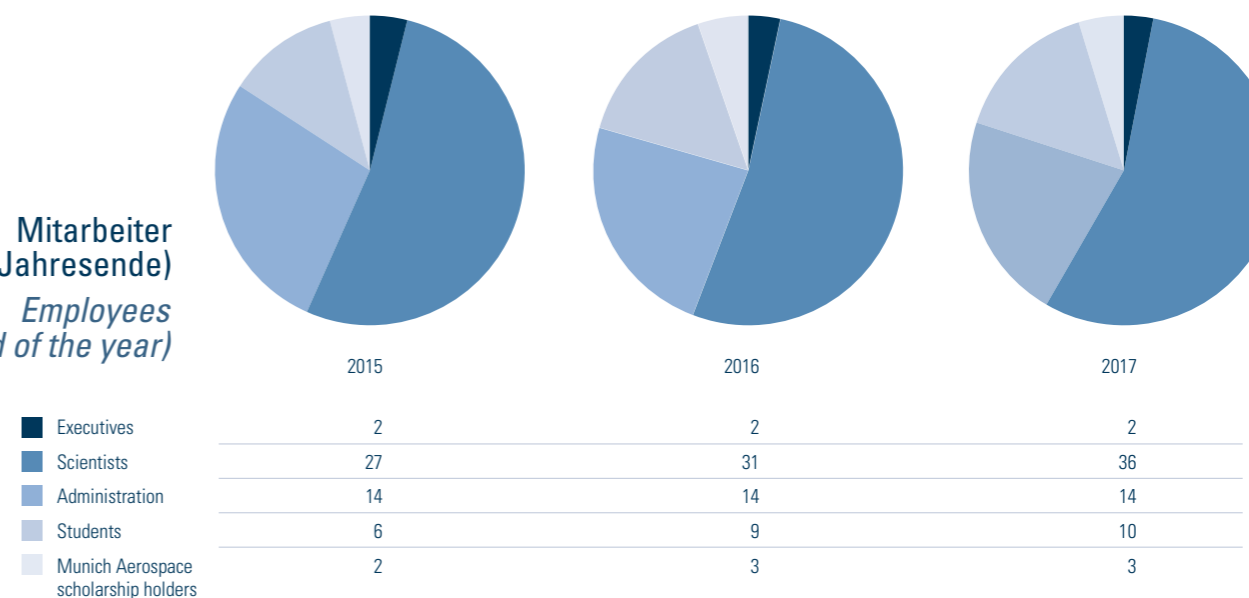
In einem absehbar stabilen wirtschaftlichen Umfeld sind für 2018 in moderatem Umfang weitere Einstellungen von wissenschaftlichem Personal geplant. Das interdisziplinäre Team soll weiter um wissenschaftliche Nachwuchskräfte und Stipendiaten wachsen.

Personnel

The 2017 financial year was characterised by another strong increase in personnel. Due to the stable project situation, Bauhaus Luftfahrt was able to hire 5 more people in the research field and employed in total 52 people at the end of the year. Of the 36 scientific staff, 17 hold a PhD and 10 are female. In addition, there are 3 scholarship holders of the Munich Aerospace – Faculty of Aerospace e. V. scholarship programme, who work on their PhD in the existing interdisciplinary research network. At the end of the year, 10 students were employed and another 3 worked on their thesis. The high number of students confirms once again that Bauhaus Luftfahrt is an interesting and promising location for junior academics – temporarily for the submission of their thesis, for intern or research assistants or in the longer term as a potential attractive future employer.

In the foreseeable stable economic environment, further hiring of scientific staff is planned for 2018 to a moderate extent. The interdisciplinary team is supposed to continuously grow with young scientists and scholarship holders.

Mitarbeiter (am Jahresende)
Employees (end of the year)



▶ Zeitschriftenbeiträge Journal contributions

- 25.09.2017 **Environmental Science & Technology** | Vol. 51, No. 21, pp. 12938–12947, DOI 10.1021/acs.est.7b02633
Water Footprint and Land Requirement of Solar Thermochemical Jet-Fuel Production
Autoren/authors: C. Falter, R. Pitz-Paal
- 15.05.2017 **Aircraft Engineering and Aerospace Technology** | Vol. 89, No. 4, pp. 520–534, DOI 10.1108/AEAT-11-2016-0196
Sizing implications of a regional aircraft for inner-city operations
Autoren/authors: P. Heinemann, M. Schmidt, F. Will, S. Kaiser, C. Jessberger, M. Hornung
- 09.05.2017 **Journal of Air Transport Studies** | Vol. 8, No. 1, pp. 1–12
Towards seamless passenger transport: performance of intermodal approaches
Autoren/authors: M. Urban, A. Paul, M. Cole
- 09.05.2017 **Journal of Engineering for Gas Turbines and Power** | Vol. 139, No. 10, pp. 9, DOI 10.1115/1.4036527
Potential of Future Thermoelectric Energy Recuperation for Aviation
Autoren/authors: C. Bode, J. Friedrichs, R. Somdalen, J. Koehler, K.-D. Buechter, C. Falter, U. Kling, P. Ziolkowski, K. Zabrocki, E. Mueller, D. Kožulovi
- 01.05.2017 **Progress in Aerospace Sciences** | Vol. 92, pp. 25–38, DOI 10.1016/j.paerosci.2017.05.002
A review of aircraft turnaround operations and simulations
Autor/author: M. Schmidt
- 26.04.2017 **Journal of Aircraft** | Vol. 54, No. 5, pp. 1979–1989, DOI 10.2514/1.C034002
Progress in Optimizing the Propulsive Fuselage Aircraft Concept
Autoren/authors: J. Bijewitz, A. Seitz, M. Hornung, A. Isikveren
- 01.03.2017 **Solar Energy** | Vol. 144, pp. 569–579, DOI 10.1016/j.solener.2017.01.063
A generic solar-thermochemical reactor model with internal heat diffusion for counter-flow solid heat exchange
Autoren/authors: C. Falter, R. Pitz-Paal

▶ Buchbeiträge Book contributions

- 11.12.2017 **Deliverable 5.3** | DATASET2050, pp. 66, Grant Agreement No. 640353
Assessing Passenger Requirements along the D2D Air Travel Chain
Autoren/authors: A. Paul, U. Kluge
- 01.09.2017 **Biokerosene – Status and Prospects** | Springer-Verlag, pp. 607–635, ISBN 978-3-662-53063-4
Hydrothermal Liquefaction: A Promising Pathway Towards Renewable Jet Fuel
Autoren/authors: P. Biller, A. Roth
- 01.09.2017 **Biokerosene – Status and Prospects** | Springer-Verlag, pp. 33–41, ISBN 978-3-662-53063-4
Key Drivers and Technical Developments in Aviation
Autor/author: K. Ploetner
- 01.09.2017 **Biokerosene – Status and Prospects** | Springer-Verlag, pp. 95–122, ISBN 978-3-662-53063-4
Potentials of Biomass and Renewable Energy: The Question of Sustainable Availability
Autoren/authors: A. Roth, F. Riegel, V. Batteiger
- 21.02.2017 **Deliverable 3.2** | DATASET2050, pp. 80, Grant Agreement No. 640353
Future Passenger Demand Profile
Autoren/authors: U. Kluge, A. Paul, G. Tanner, A. Cook

► Konferenzbeiträge Conference contributions

- 16.10.2017 **6th CEAS European Air & Space Conference** | Bucharest
A Review of Recent Personal Air Vehicle Concepts
Autoren/authors: M. Shamiyeh, J. Bijewitz, M. Hornung
- 16.10.2017 **6th CEAS European Air & Space Conference** | Bucharest
Assessment of Electric Taxiing Considering Aircraft Utilisation and Maintenance Cost
Autoren/authors: U. Kling, C. Steger, F. Peter, M. Schmidt
- 16.10.2017 **6th CEAS European Air & Space Conference** | Bucharest
Detecting future potentials for step-change innovation in aeronautics – progress and challenges
Autoren/authors: L. Koops, A. Sizmann
- 16.10.2017 **6th CEAS European Air & Space Conference** | Bucharest
Estimation of fuel savings potential using thermoelectric recuperation in aero engines
Autoren/authors: K.-D. Buechter, U. Kling, C. Bode, J. Friedrichs
- 16.10.2017 **6th CEAS European Air & Space Conference** | Bucharest
Evaluation of piston engine modes and configurations in composite cycle engine architectures
Autoren/authors: M. Nickl, S. Kaiser
- 16.10.2017 **6th CEAS European Air & Space Conference** | Bucharest
Scaling of Airborne Ad-hoc Network Metrics with Link Range and Satellite Connectivity
Autoren/authors: K.-D. Buechter, O. Milshtein
- 16.10.2017 **6th CEAS European Air & Space Conference** | Bucharest
Sizing Considerations of an Electric Ducted Fan for Hybrid Energy Aircraft
Autoren/authors: P. Vratny, M. Hornung
- 26.09.2017 **7th EASN International Conference** | Warsaw
Conceptual Study of a Mechanically Integrated Parallel Hybrid Electric Turbofan
Autoren/authors: A. Seitz, M. Nickl, A. Stroh, P. Vratny
- 26.09.2017 **7th EASN International Conference** | Warsaw
H2020 CENTRELINE – Project Preview
Autor/author: A. Seitz
- 11.09.2017 **2nd International Workshop on Linked Data in Industry 4.0** | Amsterdam
Towards Integration and Coverage Assessment of Ontologies for Knowledge Reuse in the Aviation Sector
Autoren/authors: J. Lehmann, M. Shamiyeh, S. Ziemer

► Konferenzbeiträge Conference contributions

- 06.09.2017 **G.A.R.S. Workshop on the Future of Air Transport** | Munich
Effects of market concentration in the hinterland of European hub airports
Autorin/author: A. Paul
- 06.09.2017 **International Conference on Operations Research** | Berlin
The European Air Transport System: Methodological Perspective on System
Autoren/authors: G. Barbeito, U. Kluge, M. Urban, M. Moll, S. Pickl, K. Ploetner, M. Zsifkovits
- 05.09.2017 **Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2017** | Munich
Aircraft On-Demand Sharing Model: Cost Reduction Potential of Short- to Medium-Range Passenger Aircraft Inventories
Autoren/authors: K. Ploetner, R. Rothfeld, M. Urban
- 05.09.2017 **Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2017** | Munich
Conceptual Sizing Methods for Power Gearboxes in Future Gas Turbine Engines
Autoren/authors: A. Stroh, G. Wortmann, A. Seitz
- 05.09.2017 **Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2017** | Munich
Modelling the European Air Transport System: A System Dynamics Approach
Autoren/authors: M. Urban, U. Kluge, K. Ploetner, G. Barbeito, S. Pickl, M. Hornung
- 03.09.2017 **23rd ISABE Conference** | Manchester
Investigations of Synergistic Combination of the Composite Cycle and Intercooled Recuperation
Autoren/authors: S. Kaiser, M. Nickl, C. Salpingidou, Z. Vlahostergios, S. Donnerhack, H. Klingels
- 19.08.2017 **32nd International Union of Radio Science General Assembly & Scientific Symposium** | Montreal
Availability of aeronautical ad-hoc network in different global air transport fleet scenarios
Autor/author: K.-D. Buechter
- 05.07.2017 **21st ATRS World Conference** | Antwerp
Analysis of European Airports' Access and Egress Travel Times Using Google Maps
Autoren/authors: R. Rothfeld, A. Straubinger, A. Paul, K. Ploetner
- 05.07.2017 **21st ATRS World Conference** | Antwerp
Business Model Innovation in Aviation: An Application Case of the Business Model Navigator to the Airline Industry
Autoren/authors: M. Urban, A. Vencken
- 05.07.2017 **21st ATRS World Conference** | Antwerp
Factors influencing European passenger demand for air transport
Autoren/authors: U. Kluge, A. Paul, A. Cook, S. Cristóbal

► Konferenzbeiträge Conference contributions

- 05.07.2017 **21st ATRS World Conference** | Antwerp
Impact of Airline Business Models, Market Segments, and Geographical Regions on Aircraft Cabin Configurations
Autoren/authors: O. Oguntona, K. Ploetner, M. Urban, R. Rothfeld, M. Hornung
- 05.07.2017 **21st ATRS World Conference** | Antwerp
Potential of Aircraft On-Demand Sharing Model for Large Commercial Aircraft
Autoren/authors: K. Ploetner, M. Urban, M. Hornung
- 03.07.2017 **G.A.R.S. 14th Aviation Student Research Workshop** | Amsterdam
Exploring factors influencing European passenger demand for air transport using a causal loop diagram
Autoren/authors: U. Kluge, A. Paul
- 21.06.2017 **2017 ITEA Annual Conference and School on Transportation Economics** | Barcelona
Estimating the effects of competition in the hinterland of European primary airports
Autoren/authors: A. Paul, B. Mantin
- 05.06.2017 **AIAA AVIATION 2017** | Denver
Improving the Operational Ground Performance of Regional Aircraft
Autoren/authors: M. Schmidt, P. Heinemann
- 05.06.2017 **AIAA AVIATION 2017** | Denver
Technological and Operational Scenarios on Aircraft Fleet Level towards ATAG and IATA 2050 Emission Targets
Autoren/authors: K. Ploetner, R. Rothfeld, M. Urban, M. Hornung, G. Tay, O. Oguntona
- 09.01.2017 **AIAA SciTech Forum** | Grapevine
Advanced Tube-and-Wing Aircraft for Year 2050 Timeframe
Autoren/authors: P. Heinemann, P. Panagiotou, P. Vratny, S. Kaiser, M. Hornung, K. Yakinthos
- 09.01.2017 **55th AIAA Aerospace Sciences Meeting** | Grapevine
Boarding and Turnaround Process Assessment of Single- and Twin-Aisle Aircraft
Autoren/authors: M. Schmidt, P. Heinemann, M. Hornung

► Abschlussarbeiten Theses

- 23.11.2017 **Master Thesis** | Julius Maximilian University of Würzburg
Aktuelles Erleben und zukünftige Entwicklung von geschäftlichen Flugreisen
Autorin/author: V. Gissibl
- 31.10.2017 **Bachelor Thesis** | Technical University of Munich
Operational assessment of passenger boarding strategies
Autor/author: T. Coulon
- 31.10.2017 **Master Thesis** | Technical University of Munich
Investigation of Electromagnetic Shock Absorber for Aircraft Landing Gear
Autorin/author: N. Bustos Gongora
- 04.10.2017 **Diploma Thesis** | TU Dresden
Investigation of Shape Memory Alloys As Possible Shock Absorber Technology for Aircraft Undercarriage
Autor/author: M. Buchberger
- 26.09.2017 **Master Thesis** | Technical University of Berlin
Design of a Large Passenger Aircraft with Body Landing Gear
Autor/author: H. Kellermann
- 04.09.2017 **Master Thesis** | Technical University of Munich
Piston Engine Conceptualisation for Composite Cycle Engines
Autor/author: P. Keller
- 17.07.2017 **Dissertation** | Technical University of Munich
Modelling temperature and microalgae productivity for photobioreactors in industrial-scale cultivation plants
Autor/author: C. Endres
- 02.06.2017 **Dissertation** | RWTH Aachen University
Efficiency Potential of Solar Thermochemical Reactor Concepts with Ecological and Economic Performance
Analysis of Solar Fuel Production
Autor/author: C. Falter

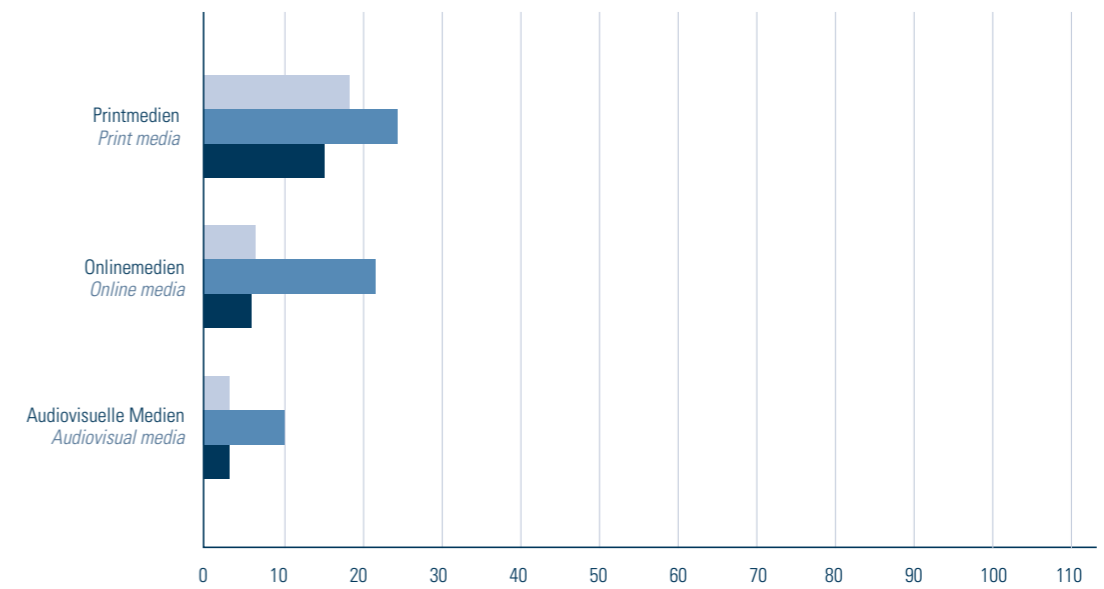
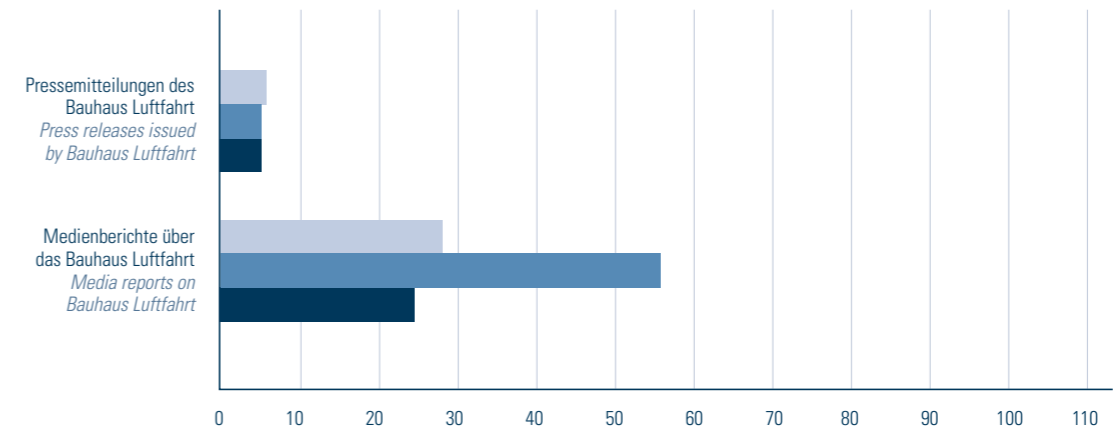
► **Patente**
Patents

- DE 102008022452 A1** **Deutsches Patent- und Markenamt** | München
Flugzeug mit aktiv steuerbaren Hilfsflügeln
Erfinder/inventor: J. Wittmann

- DE 102008024463 B4** **Deutsches Patent- und Markenamt** | München
Flugzeugantriebssystem
Erfinder/inventor: A. Seitz

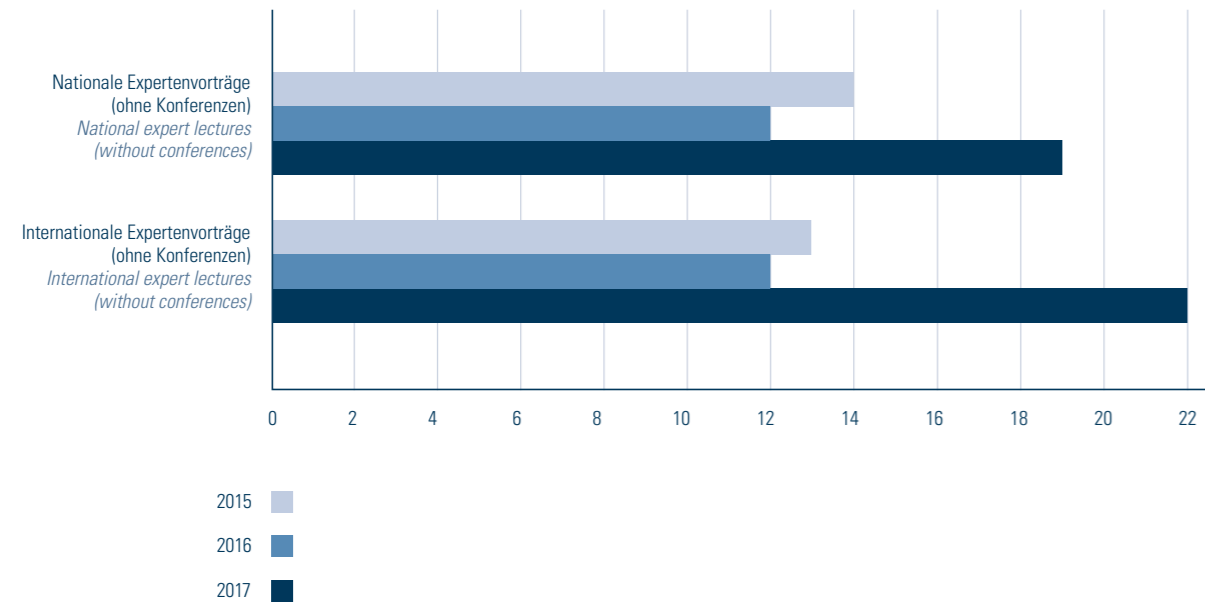
- DE 102012015104.7** **Deutsches Patent- und Markenamt** | München
Fahrzeugtriebwerk, Fahrzeug mit diesem Fahrzeugtriebwerk und Verfahren zum Betrieb dieses Fahrzeugtriebwerkes
Erfinder/inventor: O. Schmitz

► **Medienberichterstattung**
Media coverage



2015 ■
2016 ■
2017 ■

► Expertenvorträge (ohne Konferenzen) Expert lectures (without conferences)



Impressum Imprint

Bauhaus-Luftfahrt-Jahrbuch 2017

Herausgeber / Publisher

Bauhaus Luftfahrt e. V.
Willy-Messerschmitt-Str. 1, 82024 Taufkirchen
www.bauhaus-luftfahrt.net

Redaktion / Editor

Florian Riegel

Autoren / Authors

Dr. Valentin Batteiger	Sascha Kaiser	Dr. Kay Plötner
Julian Bijewitz	Ulrike Kluge	Florian Riegel
Dr. Kai-Daniel Büchter	Dr. Lily Koops	Dr. Arne Roth
Dr. Christian Endres	Dr. Holger Kuhn	Raoul Rothfeld
Dr. Christoph Falter	Dr. Jos Lehmann	Dr. Arne Seitz
Anaïs Habermann	Ivana Matković	Dr. Andreas Sizmann
Dr. Alexander Heußner	Markus Nickl	Marcia Urban
Prof. Dr. Mirko Hornung	Insa Ottensmann	Patrick Vratny
Moritz Höser	Annika Paul	
Dr. Jochen Kaiser	Fabian Peter	

Bildnachweise / Picture credits

Titelseite: Bauhaus Luftfahrt e. V., S. 2: Bayerisches Ministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie, S. 6: Jan Greune, S. 10: Fotolia, S. 14: Jan Greune, Alamy (Nils Ackermann), S. 16: Alamy (Nils Ackermann), S. 18/19 Adobe Stock (sdecoret), Jan Greune, S. 20: Adobe Stock (NicoElNino), S. 22: Bauhaus Luftfahrt e. V., Jan Greune, Flaticon (Freepik, Gregor Cresnar), DyhrGrieshaber, S. 24/25: Flaticon (Pixel Buddha, Dmitry Miroliubov, Freepik, Pixel perfect, Iconmoon, Gregor Cresnar, Dave Gandy, Dot on Paper, Creaticca Creative Agency), S. 26: istockphoto (RoboLab), S. 28: Bauhaus Luftfahrt e. V., S. 30/31: Airbus, Jan Greune, S. 32/33: Bauhaus Luftfahrt e. V., Jan Greune, S. 34: Bauhaus Luftfahrt e. V., S. 37: Bauhaus Luftfahrt e. V., S. 39: Solargis, S. 40/41: Bauhaus Luftfahrt e. V., Jan Greune, S. 42: Jan Greune, S. 45: Jan Greune, S. 47: Jan Greune, S. 50: Bauhaus Luftfahrt e. V., Jan Greune, S. 52: DyhrGrieshaber, S. 55: Bauhaus Luftfahrt e. V., Jan Greune, S. 56: Jan Greune, istockphoto (Savaryn, porcorex)

Konzept, Layout, Grafiken / Concept, layout, graphics

Jutta Dyhr Gerd Grieshaber GbR, Neufahrn, www.dyhrgrieshaber.de

Druck / Print

Kessler Druck + Medien GmbH & Co. KG, Bobingen

Auflage / Circulation

700 Exemplare/700 copies

Aus Gründen der Lesefreundlichkeit verzichten wir auf die explizite Nennung der weiblichen Form. Wenn zum Beispiel von Mitarbeitern die Rede ist, sind selbstverständlich auch die Mitarbeiterinnen gemeint.



Bauhaus Luftfahrt
Neue Wege.

