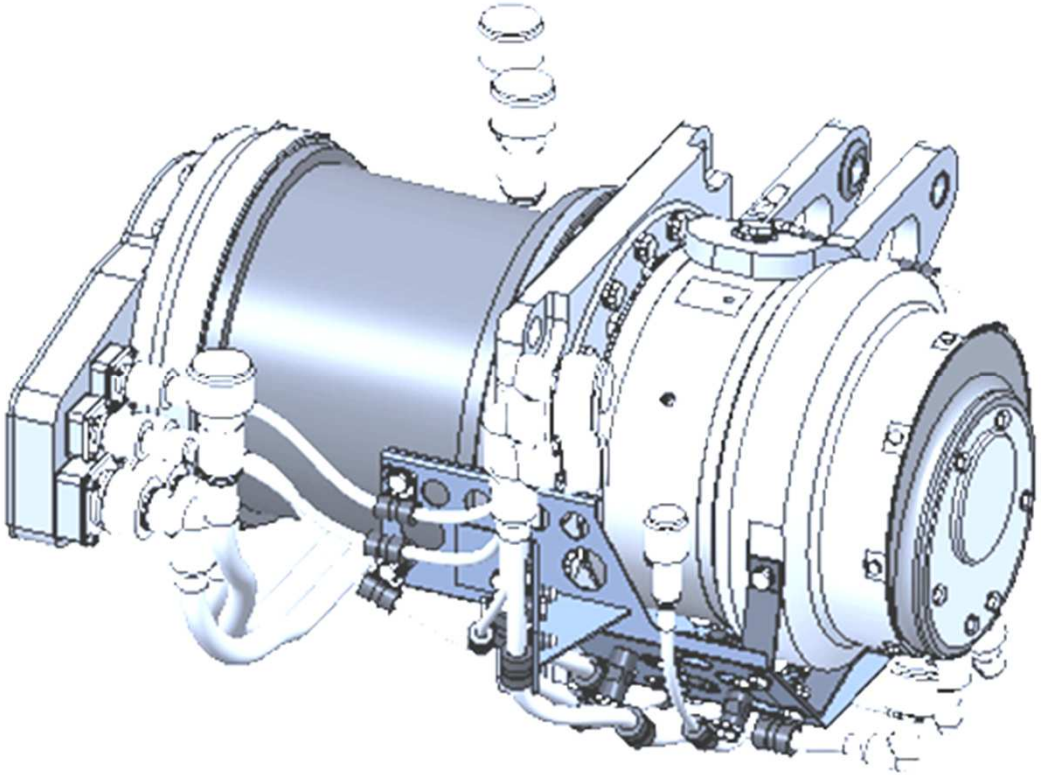
see.think.act

More Electric Aircraft

Dr. Uwe T. P. Arnold
ZF Luftfahrttechnik GmbH



Deutscher L+R-Kongress
Friedrichshafen

04.09.2018

01 Hintergrund / Motivation

02 Die „elektrischen“ Anteile der Technologie RoadMap

- Überblick
- Begriffsbestimmungen

02 Beispiele aus dem Bereich der Hubschrauber-Steuerungssysteme

- 1:1-Ersatz konventioneller Systeme
- Die Chance zu neuen Topologien
- Erweiterte Funktionalitäten

03 Resümee, Ausblick

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

01 Hintergrund / Motivation

02 Die „elektrischen“ Anteile der Technologie RoadMap

- Überblick
- Begriffsbestimmungen

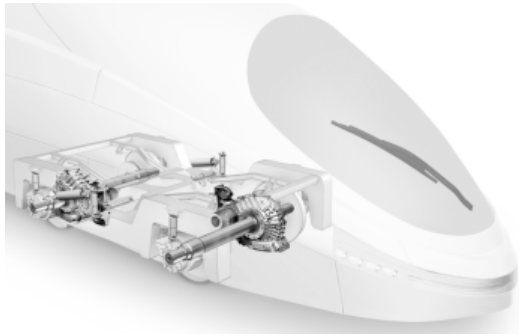
02 Beispiele aus dem Bereich der Hubschrauber-Steuerungssysteme

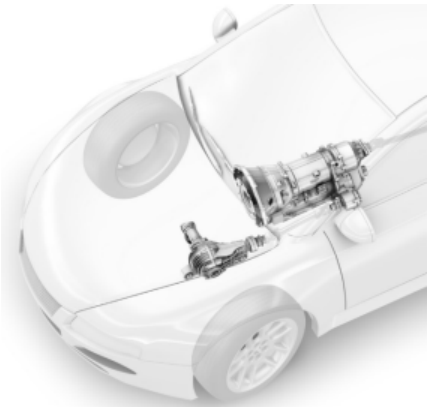
- 1:1-Ersatz konventioneller Systeme
- Die Chance zu neuen Topologien
- Erweiterte Funktionalitäten

03 Resümee, Ausblick

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Intelligent Mechanical Systems by ZF
Vision Zero: Zero Emission – Zero Accidents





© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Hintergrund / Motivation

Warum wollen wir more-electric / hybrid-electric / all-elctric werden?

- … weil alle anderen es auch tun
  (Eisenbahnen, Automobile, Arbeitsmaschinen, Wasserfahrzeuge, …)
- … weil es sauberer ist und (am Ort des Betriebs) die Emissionen senkt
- … weil Elektrik/Elektronik für viele Funktionen sowieso immer benötigen wird
- … weil jede weitere Energieform zusätzlichen Aufwand an Bord aber auch am Boden erzeugt
  (Wandlungsverluste, Leitungen, Wartung, Infrastruktur, Expertise, Ressourcen, …)
- … weil die anderen Energieträger gefährlich(er) und schmutzig(er) sind
  (giftig, heiß, brennbar, flüchtig, …)
- … weil es uns die "Kleinen" erfolgreich vormachen
  (Drohnen, Quadcopter, Modellflieger, Rasenmäher, …)

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

01 Hintergrund / Motivation

02 Die „elektrischen“ Anteile der Technologie RoadMap

- Überblick
- Begriffsbestimmungen

02 Beispiele aus dem Bereich der Hubschrauber-Steuerungssysteme

- 1:1-Ersatz konventioneller Systeme
- Die Chance zu neuen Topologien
- Erweiterte Funktionalitäten

03 Resümee, Ausblick

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Die “elektrischen” Kapitel der Technologie-Roadmap

2 Luftfahrzeug
- 2.1 Luftfahrzeugkonfiguration
- 2.2 Bauweisen, Werkstoffe und Fertigungsverfahren
- 2.3 Antrieb
- 2.4 Systeme
  - 2.4.1 Systeme für effizienten Betrieb
  - 2.4.2 Flugsteuerung
  - 2.4.3 Generische Bordelektronik
  - 2.4.4 Cockpit/Piloten Funktion
  - 2.4.5 More/All Electric Aircraft
    - 2.4.5.1 Energiesysteme
    - 2.4.5.2 Elektrischer Flügel und Rotor
    - 2.4.5.3 Elektrische Klimaanlage
    - 2.4.5.4 Fahrwerksantriebe
  - 2.4.6 Modellbasierte Systementwicklung
- 2.5 Kabine

3 Instandhaltung, Reparatur und Modifikation im Flugbetrieb

4 Betrieb und Bodeninfrastruktur

5 Luftverkehrsmanagement

6 Ziviles Unbemanntes Fliegen

7 Hybrid-Elektrisches Fliegen
- 7.1 Voll-Elektrische Antriebe
- 7.2 Elektro-hybride Antriebe
- 7.3 Integration Antrieb-Zelle
- 7.4 Forschungsziele

8 Industrie 4.0 und Digitalisierung in der Luftfahrt

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Kapitel 2.4.2: Flugsteuerung

Kurz- bis mittelfristig (bis 2030) werden die nächsten Flugsteuerungssystem-Generationen sich von mono-funktionalen Steuerflächen-Konfigurationen zu flexibel einzusetzenden, Software-konfigurierbaren Momentenerzeugern weiterentwickeln. Diese Flexibilität erfordert in Konsequenz Antriebssysteme, die in ihrer Auslegung in Bezug auf Dynamik und Stellbereich dem neuen Einsatzspektrum angepasst werden müssen. Dabei setzt sich der Trend zu elektromechanischen Antrieben in den kleineren Leistungsklassen fort.

Im Bereich der Hubschrauber sind große Verbesserungen für die Betriebseigenschaften des gesamten [illegible] zu alternativen Steuersystem-Architekturen über-gegangen, [illegible] die aktiven Antriebselemente von ihren klassischen Einbauorten in der Zelle [illegible] an die Rotorblätter rücken. Es ergeben sich dadurch zusätzliche Freiheitsgrade, die eine gezieltere Beeinflussung der Rotor (Aero-)Dynamik zulassen. Die dabei entstehenden Fragen bezüglich Zuverlässigkeit, Fehlererkennung, Ausfallverhalten oder Rekonfigurierung sind jedoch für den praktischen Einsatz noch nicht gelöst. Auch die Rechner-systeme müssen in ihrer Rekonfigurierbarkeit dem neuen Aufgabenspektrum Rechnung tragen.

[7]

Die Systemsensorik muss für die erweiterten Regelaufgaben fortentwickelt werden und insbesondere auch den im vorherigen Kapitel beschriebenen Ansatz des Vehicle Health Management unterstützen.

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Kapitel 2.4.5.1: Energiesysteme

Neuartige Ansätze bei den Energiesystemen sind Grundvoraussetzungen für das zukünftige hocheffiziente „More / All Electric Aircraft".

Alternative Energiegeneratoren und -netze sowie intelligente Energieverteilungen sind zu konzipieren, entwickeln und integrieren. Dabei reicht das Spektrum der Ansätze von alternativen Energiequellen wie Brennstoffzellensysteme für Notenergiesysteme oder energieautarke Monumente wie Galley, mittelfristig Energie-autarke Kabinen, mittel- bis langfristig die Nutzung von Rest- und Verlustenergien (Energy Harvesting) und langfristig die vollständige elektrische Versorgung sämtlicher Verbraucher im Flugzeug durch alternative, hoch-effiziente Energie-quellen/-generatoren.

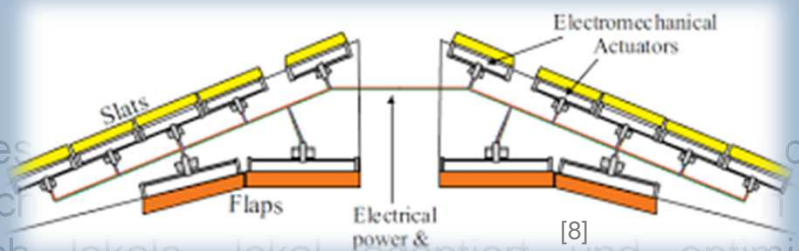
Hauptmerkmal der r übergreifende Optimierung der Anforderungen an die Energie der Verlustleistung sein.

[10]

Hierfür sind die not sungen bzgl. elektrischer Hochvolt-Bordnetze, intelligenter Energi e- und Thermalhaushalt auf Gesamtflugzeugebene zu konzipieren, entwickeln und realisieren.

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

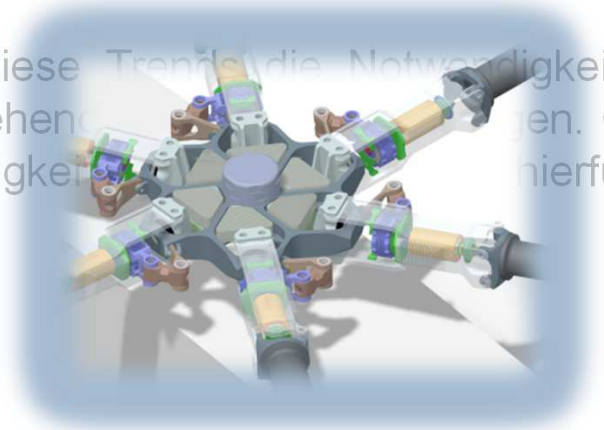
Kapitel 2.4.5.2: Elektrischer Flügel und Rotor



[8]

Mit der Umsetzung des den nächsten Dekaden auch die Versorgungssystemarc sein. Zentralisierte Strukturen werden ersetzt durch lokale, lokal adaptiert und optimierte Versorgungskonzepte mit gegebenenfalls auch lokal unterschiedlichen Versorgungsspannungen und lokaler Energie-erzeugung und -wandlung. Der Flügel ist dabei ein Flugzeugsegment, das dabei eine Schrittmacher-Rolle spielen kann, da hier große Verbraucher wie das Fahrwerk (in der Nähe des Flügels ist auch die elektrische Klimaanlage) oder die Flügelenteisung mit Verbrauchern der Flugsteuerung und des Brennstoffsystems in räumlicher Nähe installiert sind.

Im Bereich der Drehflügler implizieren diese Trends die Notwendigkeit, höhere elektrische Leistungen in den Rotor und damit ins drehen en. Getrieben von den im Primärsteuerbereich relevanten Zuverlässigkei hierfür neue Technologien zu entwickeln und validieren.



© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Kapitel 2.4.5.3: Elektrische Klimaanlage

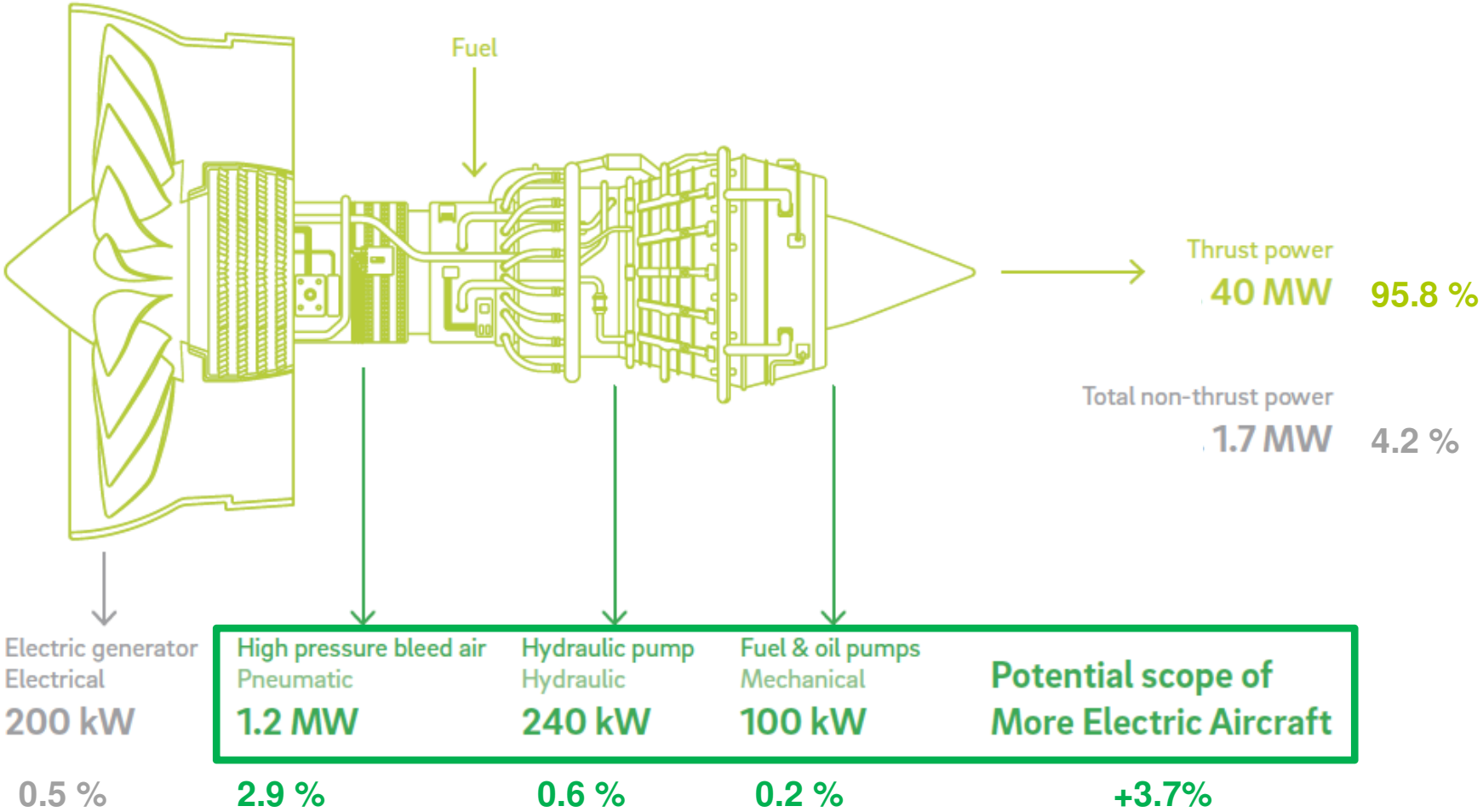
Kerntriebwerke moderner High Bypass Triebwerke reagieren sensitiv auf die Entnahme von pneumatischer Sekundärenergie. Die Reduzierung der Zapfluftentnahme für die Klimaanlage als größtem Einzel-Verbraucher nicht-propulsiver Energie ist daher eine ernstzunehmende Herausforderung. Hier gibt es inzwischen vielversprechende neue Ansätze, die nicht zwingend auf den Einsatz einer rein elektrischen Klimaanlage abzielen.

Der Übergang von der zapfluftgestützen Klimaanlage zu einer Anlage mit elektrisch angetriebenen Kompressoren startete bereits mit der Einführung der Boeing B787. Der elektrische Ansatz erlaubt eine vortriebs- und verbrauchsoptimierte Triebwerksauslegung, die nur noch Wellenleistungsentnahme berücksichtigen muss. Gleichzeitig steigt aber das Gewicht der installierten Energieerzeuger signifikant. Um dies in Grenzen zu halten, werden im Zeitraum bis 2030 Technologien für „Less Bleed“- Architekturen als Alternative zu den rein elektrischen „Bleedless“-Architekturen entwickelt.

Auf Seiten der Klimaanlage liegen die Herausforderungen in der Aufbereitung des Arbeitsmediums Luft (Ozon, Kontamination) und in der Optimierung des Antriebsstrangmotors und der Leistungselektronik, um die Systemgewichte zu erreichen, die den Vorteil aus der Triebwerksoptimierung nicht wieder kompensieren.

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Energieströme eines modernen Turbofan-Triebwerks: Aus Treibstoff wird nicht nur Triebwerksschub



[5]

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Kapitel 2.4.5.4: Fahrwerksantriebe

Im Rahmen der Optimierung des Betriebs von Luftfahrzeugen am Boden spielt das triebwerksunabhängige Rollen eine signifikante Rolle. Neben der Reduktion von Emissionen ist der schlepperlose Wartungsbetrieb ein entscheidender Vorteil. Flottenbetriebssimulationen und Analysen des täglichen Betriebs belegen dies für bordseitige Lösungen für Kurzstrecken-Feeder-Flugzeuge, für Mittel-und Langstreckenflugzeuge sind bodengebundene Lösungen zu suchen.

Um unter allen Betriebsbedingungen eine hohe Verfügbarkeit einer elektrischen Antriebsalternative zu gewährleisten, ist bei bordseitigen Lösungen eine Integrationslösung ins Hauptfahrwerk unumgänglich. Radintegrierte Antriebslösungen sind nur mit einer Neuentwicklung des Fahrwerkbeins realisierbar, deshalb fokussiert sich die Technologie-Phase bis 2030 auf nachrüstbare Lösungen am Hauptfahrwerk, die auch zu Durchdringung der Flotten führen können. Mit der Neuentwicklung (d.h. neuen Flotten) entsteht auch die Möglichkeit, ein derartiges Antriebssystem von Anfang an zu integrieren und Radnabenlösungen zu entwickeln. Dies wird für den Markt erwartet.

[9]

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Kapitel 7.1: Voll-Elektrisches Fliegen

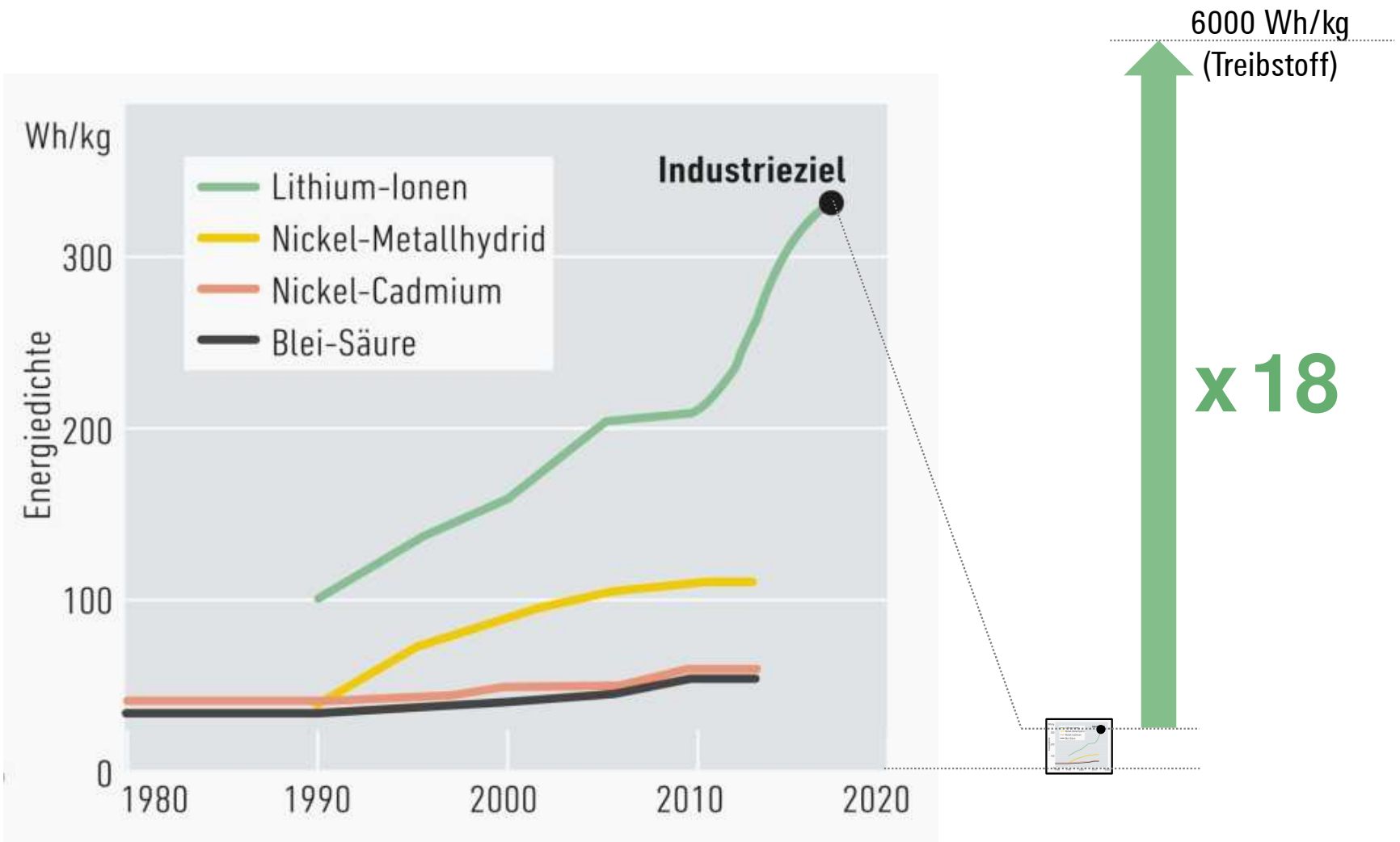
Vollelektrisches Fliegen mit Batterie verursacht keine Emissionen im Flug und zeichnet sich durch einen hohen Wirkungsgrad aus. Heutige Batterien sind für einen direkten Austausch bei gleichem Konzept für die kommerzielle Luftfahrt aufgrund der geringen Speicherkapazität (0,25 kWh/kg im Vergleich zu ca. 6 kWh/kg nutzbarer Kapazität für Kerosin) noch nicht ausreichend. Batterieelektrisch betriebene Flugzeuge mit Propellerantrieb für den Regionalverkehr im Bereich der kommerziellen Luftfahrt liegen trotz Leistungssprüngen noch in weiter Zukunft. Konzepte für Batterien mit ausreichender Kapazität für Mittel- und Langstreckenflugzeuge sind dagegen heute noch nicht bekannt.

Im Gegensatz dazu lassen sich mit der heute bereits verfügbaren bzw. in nächster Zeit absehbaren Batterietechnologie Anwendungsfälle im Bereich General Aviation und Urban Air Mobility abdecken. Hier besteht aufgrund einer weiteren Eigenschaft, nämlich der potentiell stark verringerten Lärmerzeugung auch die Möglichkeit, dass Regionalverbindungen mit diesen kleineren Flugzeugen wieder verstärkt in den Fokus rücken.

Für Schlüsseltechnologien wie elektrischen Motoren bzw. Generatoren, Leistungselektronik (Umrichter, Wechselrichter, Gleichrichter) und Batteriesystemen sind in den vergangenen Jahren allerdings maßgebliche Fortschritte hinsichtlich Energiedichte, Leistungsdichte und wiederkehrenden Kosten erzielt worden.

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Wir sind noch nicht ganz am Ziel !



[2]

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Kapitel 7.2: Elektro-hybride Antriebe

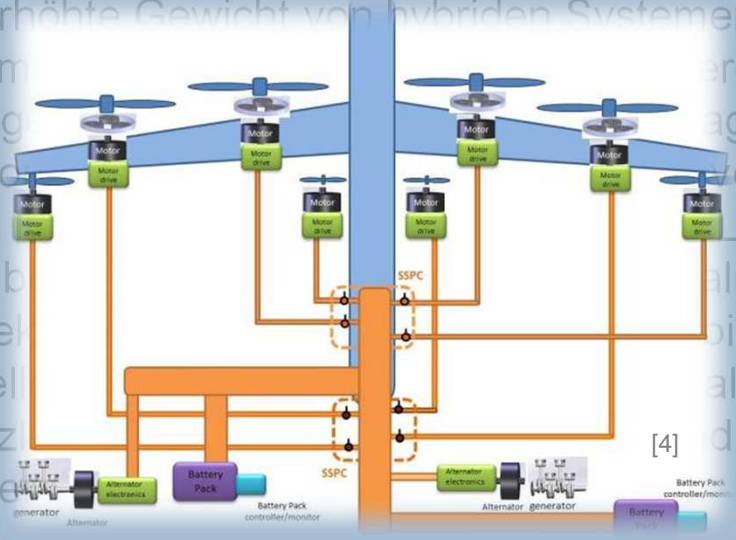
Elektro-hybride Konzepte kombinieren Gasturbinen, Kolbenmotoren oder Brennstoffzellen mit Batterien und elektrisch angetriebenen Fans oder Propellern. Die hohe Energiedichte der verwendeten Brennstoffe ermöglicht dabei hohe Leistungen und große Reichweiten. Beim seriellen Hybrid wird die gesamte Leistung der Energiequelle mittels Generator in elektrische Leistung umgewandelt und der Fan durch einen Elektromotor angetrieben, während im Spezialfall des Parallelhybrid der Fan durch Gasturbine und Elektromotor direkt angetrieben wird. Mittels zusätzlicher Batterien können Leistungsspitzen z.B. beim Start gepuffert werden. Erste Demonstrationen von Flugzeugen für 4 Passagiere zeigen das Potential des Konzepts am Beispiel eines Brennstoffzellen-Hybridantriebs, dessen Emissionen lediglich aus Wasser bestehen.

Für größere Leistungen bieten sich Elektromotoren mit Hochtemperatursupraleitung an, die nahezu verlustfrei arbeiten und das Leistungsgewicht von Gasturbinen erreichen. Eine weitere Möglichkeit, die übertragenen Leistungen in den Bereich von mehreren Megawatt zu führen, besteht in der Spannungserhöhung von konventionellen Systemen. In beiden Fällen sind Isolations-, Schalt- und Redundanzfragestellungen zu beantworten. Die Abwärme der Steuerelektronik und Verkabelung effizient abzuführen und möglichst sinnvoll zu nutzen, stellt eine weitere Herausforderung dar.

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Kapitel 7.2: Elektro-hybride Antriebe (Fortsetzung)

Vorteil aller elektro-hybriden Konzepte mit Batterieunterstützung auf Antriebsebene ist die Optimierung des Betriebspunkts der Hauptenergiequelle für niedrigen Verbrauch im Reiseflug. Die wesentlichen Verbesserungen ergeben sich jedoch aus den zusätzlich gewonnenen Freiheitsgraden im Flugzeuggesamtentwurf (siehe unten). Außerdem lassen sich durch die Trennung von Energieerzeugung und Vortriebserzeugern hocheffiziente Wärmekraftmaschinen einsetzen, z.B. mit Zwischenkühler, Abgaswärmetauscher oder revolutionären Kreisprozessen (siehe Kapitel 2.3.4 Revolutionäre Antriebskonzepte). Nachteilig sind die hohe Komplexität und das erhöhte Gewicht von hybriden Systemen, sowie die damit verbundenen Kosten des Gesam re Herausforderung im elektrischen und thermischen Manag agungskette. Dies schließt auch Maßnahmen gegen elektro verursacht ein stromführendes Kabel Störungen durch Leitung in einem anderen Kabel oder Gerät. Auch b alisierten Missionen können sich Vorteile für vollele bindung mit neuen Hubschrauberarchitekturen einstel allem für innerstädtische Shuttledienste, die zusätz d lärmarmen Antrieben elektrischer Flugzeuge profitie



[4]

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Kapitel 7.3: Integration Antrieb-Zelle

Der Wirkungsgrad von Elektromotoren hängt nicht von der Größe ab, so dass die Vortriebserzeugung auf eine größere Zahl von elektrisch angetriebenen Vortriebserzeugern verteilt werden kann. Insbesondere der serielle Hybrid bietet sich daher an für verteilte und integrierte Antriebe oder für Grenzschichtabsaugung. Dies verspricht mehrere Vorteile von der effizienteren Umströmung des Flügels, über reduzierten Widerstand bis hin zu neuen Möglichkeiten der Steuerung.
Die Integration der Antriebe in die Grenzschicht des Flugzeugs vermindert den Flugzeugwiderstand, indem z.B. an der Flügelhinterkante oder am Rumpfende die Grenzschicht wieder beschleunigt wird und dadurch Widerstandsverluste ausgeglichen werden. An der Flügelvorderkante montierte Propeller erhöhen hingegen den Auftrieb durch eine stärkere Umströmung des Flügels. Dies könnte zukünftig Hochauftriebssysteme unterstützen und ermöglicht Flügel mit geringerer Flügeltiefe [illegible] sche Gebläse können auch zur Grenzschichtabsaugung [illegible] icht verwendet werden.

Maxwell (NASA)

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Kapitel 7.3: Integration Antrieb-Zelle (Fortsetzung)

Dedizierte Propeller an den Flügelspitzen reduzieren die Randwirbel und damit den induzierten Widerstand, können aber zusätzlich auch zur seitlichen Steuerung des Flugzeugs eingesetzt werden. Differentielles Drehmoment kann zudem in der Rollsteuerung verwendet werden. Letztlich kann dies auch zu einer Verkleinerung des Leitwerks und damit zu einer Gewichtsreduktion führen. Über eine einfachere Integration könnten elektrische Antriebe eine noch konsequentere Schubvektorsteuerung in Form von schwenkbaren Antrieben oder Flügeln für Senkrecht- und Steilstartfähigkeiten ermöglichen. Ein Multikopter bedient sich beispielsweise verteilter elektrischer Antriebe. Komplizierte Helikopter-Getriebe werden bei solchen Konfigurationen vermieden.

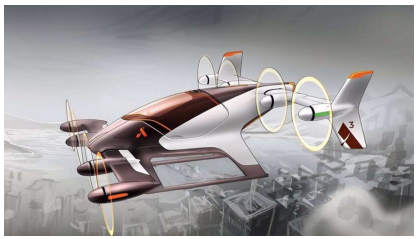
Durch die neuen Integrationsarten kann zudem auch die Sicherheit erhöht werden. Zum einen erhöhen mehrere kleinere Propeller bzw. Fans die Bodenfreiheit. Zum anderen erhöhen verteilte Antriebe und Mehr-Ko auch die Redundanz, die sich bis auf Komponentenebenen en mit doppelten Windungen).

Letztlich wird auch die ftfahrzeugs verändert. Mehrere kleinere Vortriebserzeuger erla des Geräuschspektrums und damit eine Reduktion der Druckan

Lilium Jet

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Vergleich von Antriebskonfigurationen

Vectored Thrust		Lift + Cruise		Wingless	
Lilium		Pipistrel		Volo-copter	
XTI TriFan 600		Embraer Dream Maker		City-Airbus	
Airbus A³ Vahana		Kitty-Hawk Cora		Ehang 184	

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

01 Hintergrund / Motivation

02 Die „elektrischen“ Anteile der Technologie RoadMap

- Überblick
- Begriffsbestimmungen

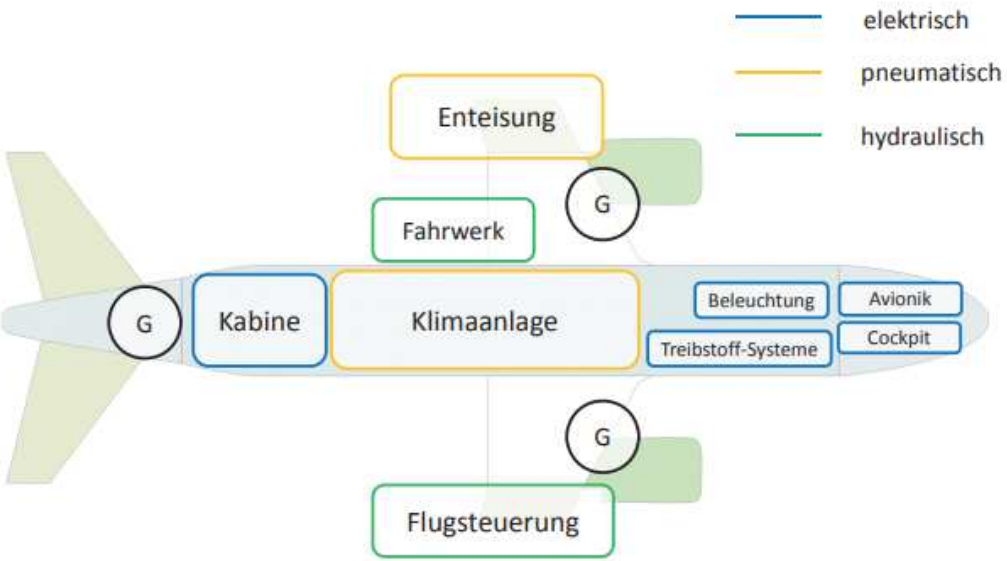
02 Beispiele aus dem Bereich der Hubschrauber-Steuerungssysteme

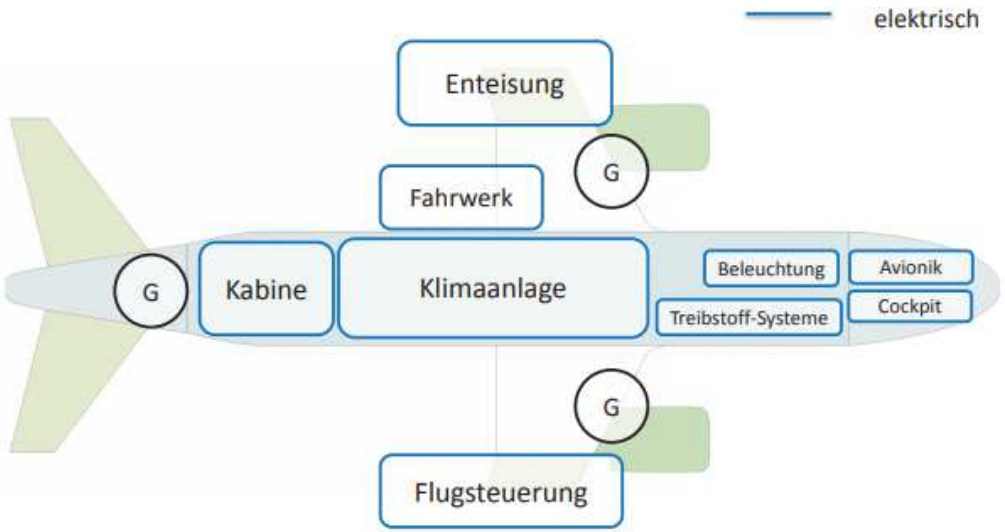
- 1:1-Ersatz konventioneller Systeme
- Die Chance zu neuen Topologien
- Erweiterte Funktionalitäten

03 Resümee, Ausblick

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Der Schritt zum More-Electric Aircraft: Die Systeme werden elektrisch, der Primärantrieb bleibt "konventionell"





[6]

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Der Schritt zum All-Electric Aircraft: Alles wird elektrisch

	konventionell	Systeme: more-electric Antriebe: hybrid-electric	all-electric

Systeme	Elektrik	• *Avionik* • *PA, Entertainment* • *Frachtladesysteme*	• elektronische Komponenten • elektrische Antriebe		Elektrik
	Pneumatik	• *Klimaanlage* • *Enteisung*	• elektrische Pumpen • Heizelemente		
	Hydraulik	• *Primärsteuerung* • *High-Lift-Systeme* • *Einziehfahrwerk* • *Bremsen & Lenkung* • *Schubumkehr*	• elektro-hydraulische Aktuatoren • elektrische Aktuatoren		
	Mechanik	• *Türbedienung* • *Kabinensitze* • *Fensterverdunkelung*	• elektrische Aktuatoren • Optronik		
Antriebe	Wärmekraft	• *Strahltriebwerk* • *TurboProp* • *Propeller*	Wärmekraftmaschine + Generator + E-Motor	Batterie / Brennstoff- / Solarzelle + E-Motor	

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

01 Hintergrund / Motivation

02 Die „elektrischen“ Anteile der Technologie RoadMap

- Überblick
- Begriffsbestimmungen

02 Beispiele aus dem Bereich der Hubschrauber-Steuerungssysteme

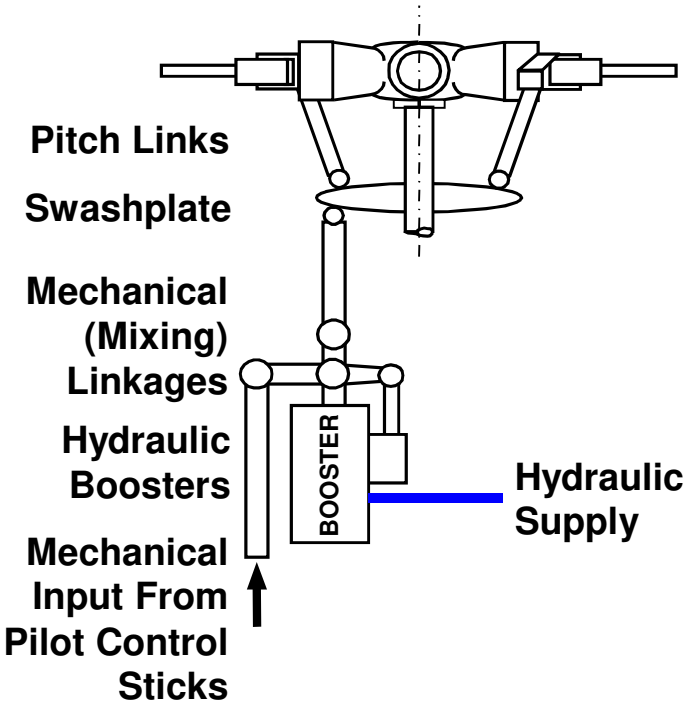
- 1:1-Ersatz konventioneller Systeme
- Die Chance zu neuen Topologien
- Erweiterte Funktionalitäten

03 Resümee, Ausblick

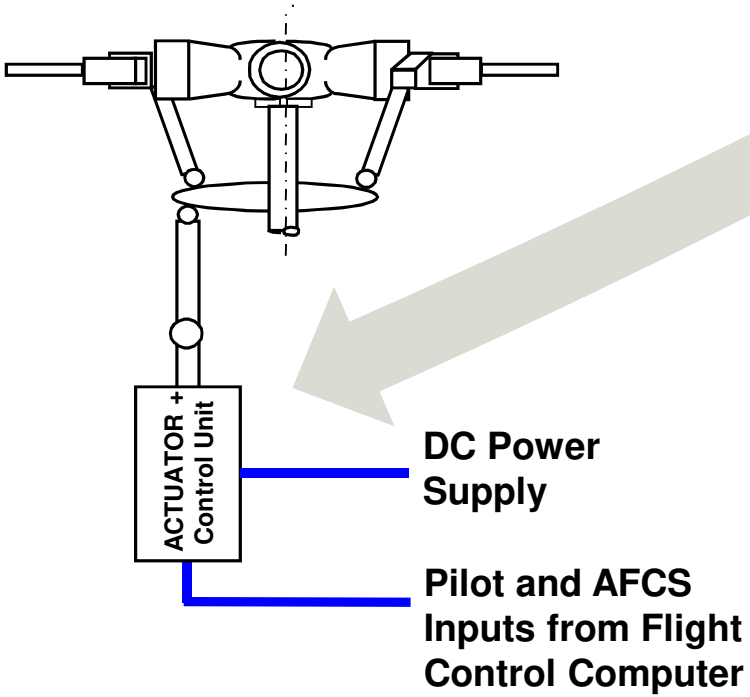
© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Substitution of Hydraulic Primary Control Booster by Electro-Mechanical Actuator (Topology Unchanged)

Conventional Hydraulically Boosted Primary Control



Electrical Fly-by-Wire Primary Control



Redundant, Fail-Safe Electro-Mechanical Linear Actuator

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

01 Hintergrund / Motivation

02 Die „elektrischen“ Anteile der Technologie RoadMap

- Überblick
- Begriffsbestimmungen

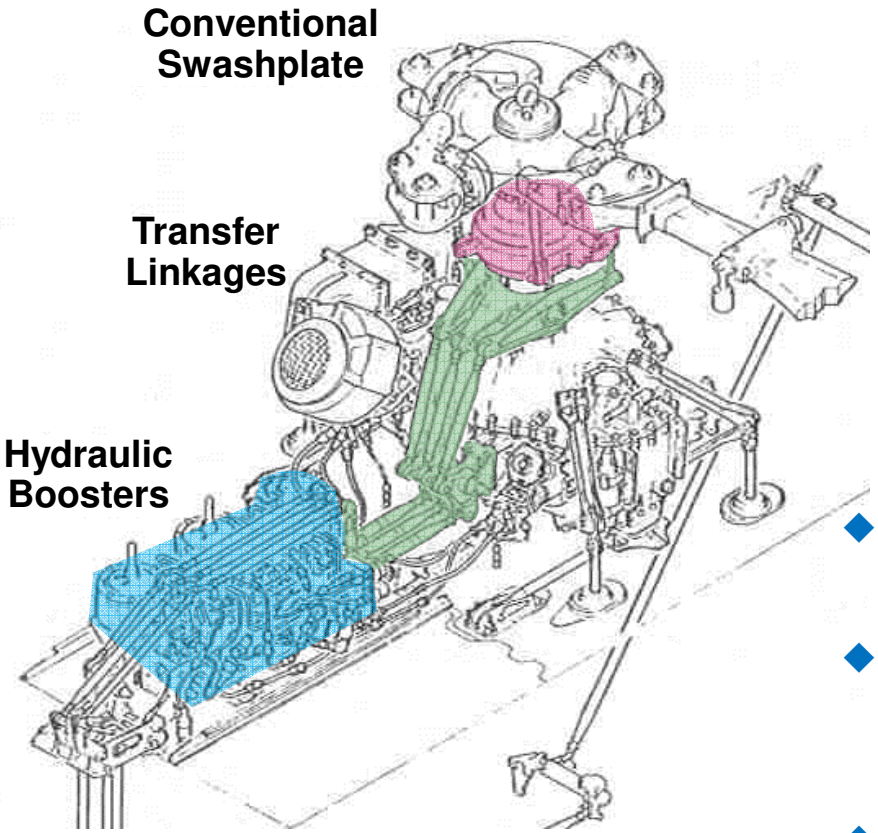
02 Beispiele aus dem Bereich der Hubschrauber-Steuerungssysteme

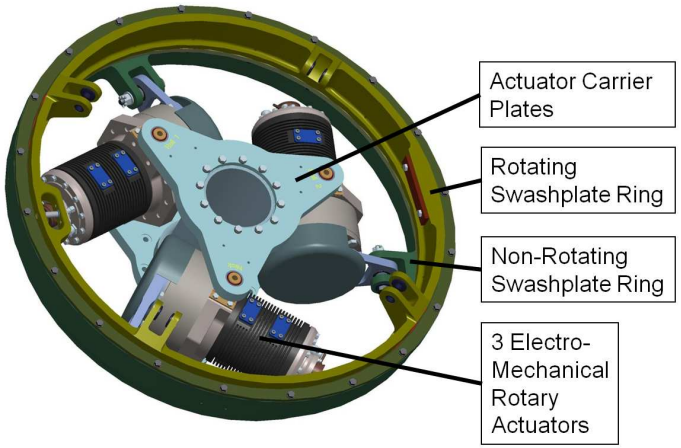
- 1:1-Ersatz konventioneller Systeme
- Die Chance zu neuen Topologien
- Erweiterte Funktionalitäten

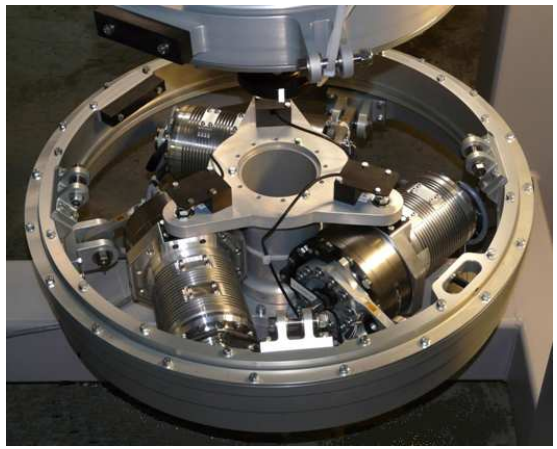
03 Resümee, Ausblick

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Electrical Control Enables Improved Topology with Reduced Complexity: e.g. Electrical Swashplate



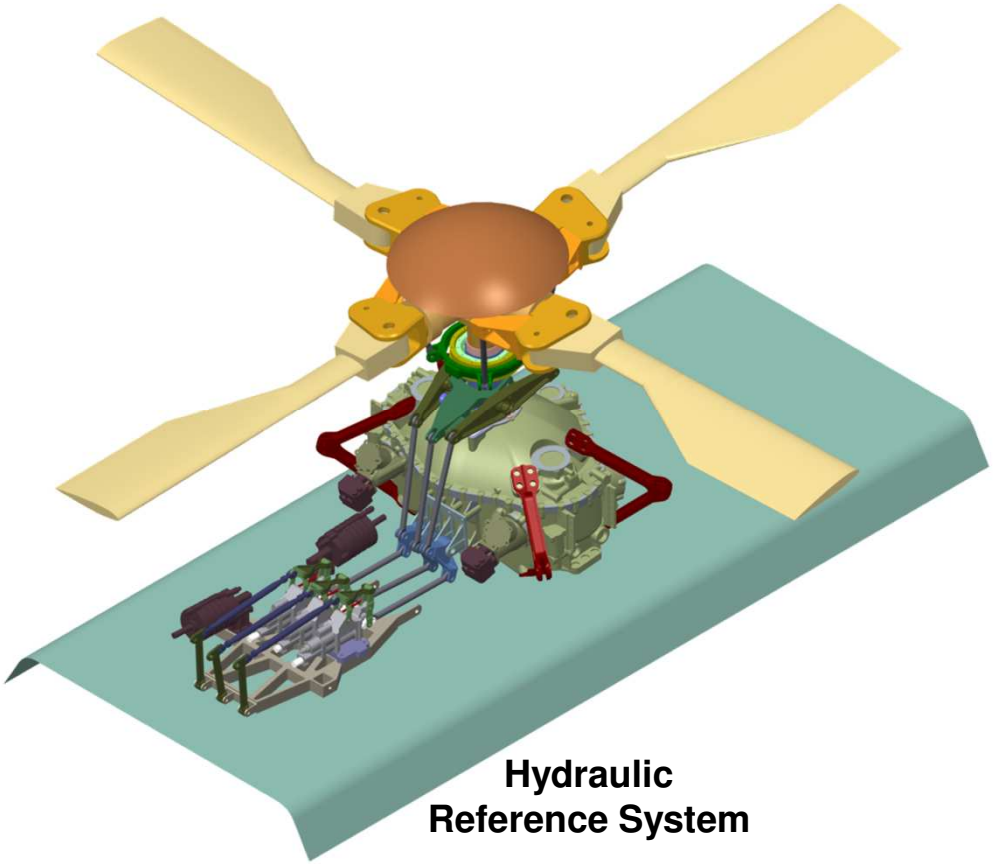


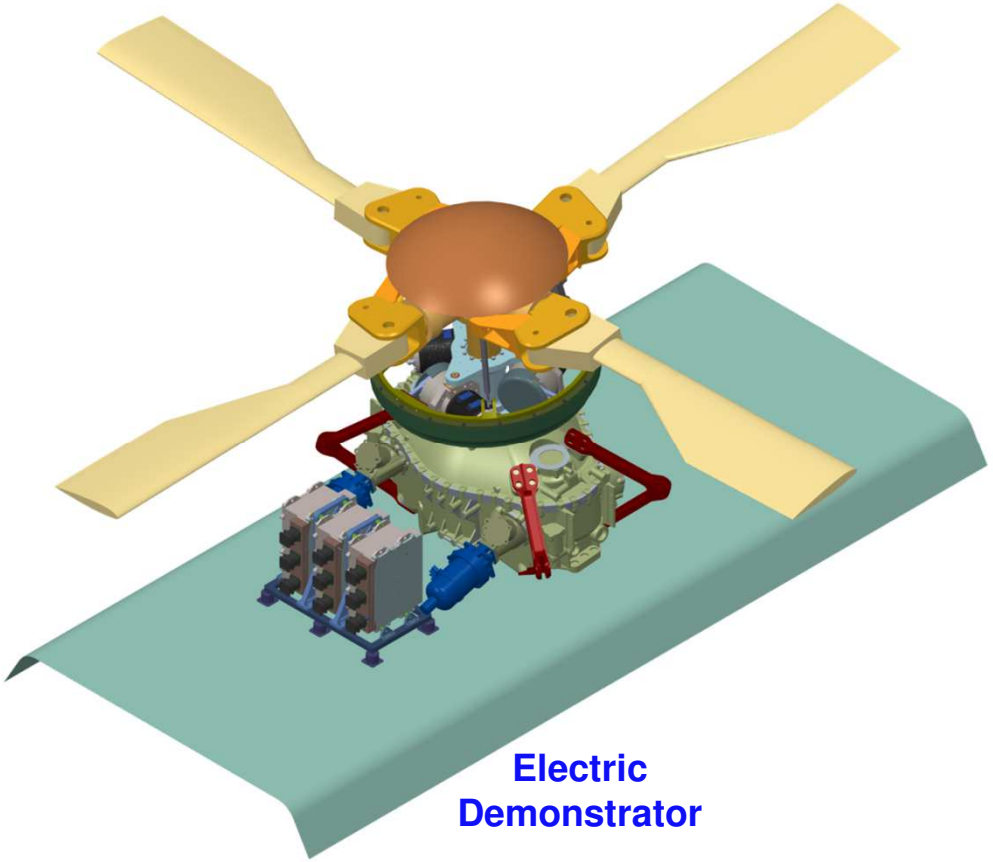


- The Electrical Swashplate replaces the hydraulic boosters and all related mechanical linkages to the conventional swashplate
- Three redundant electro mechanical actuators (EMA) support and move the ring-shaped swashplate to introduce collective and cyclic blade control via the conventional pitch links
- Each actuator is internally composed of three independent and isolated BLDC motors plus a multiple load path cycloidal gearbox

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

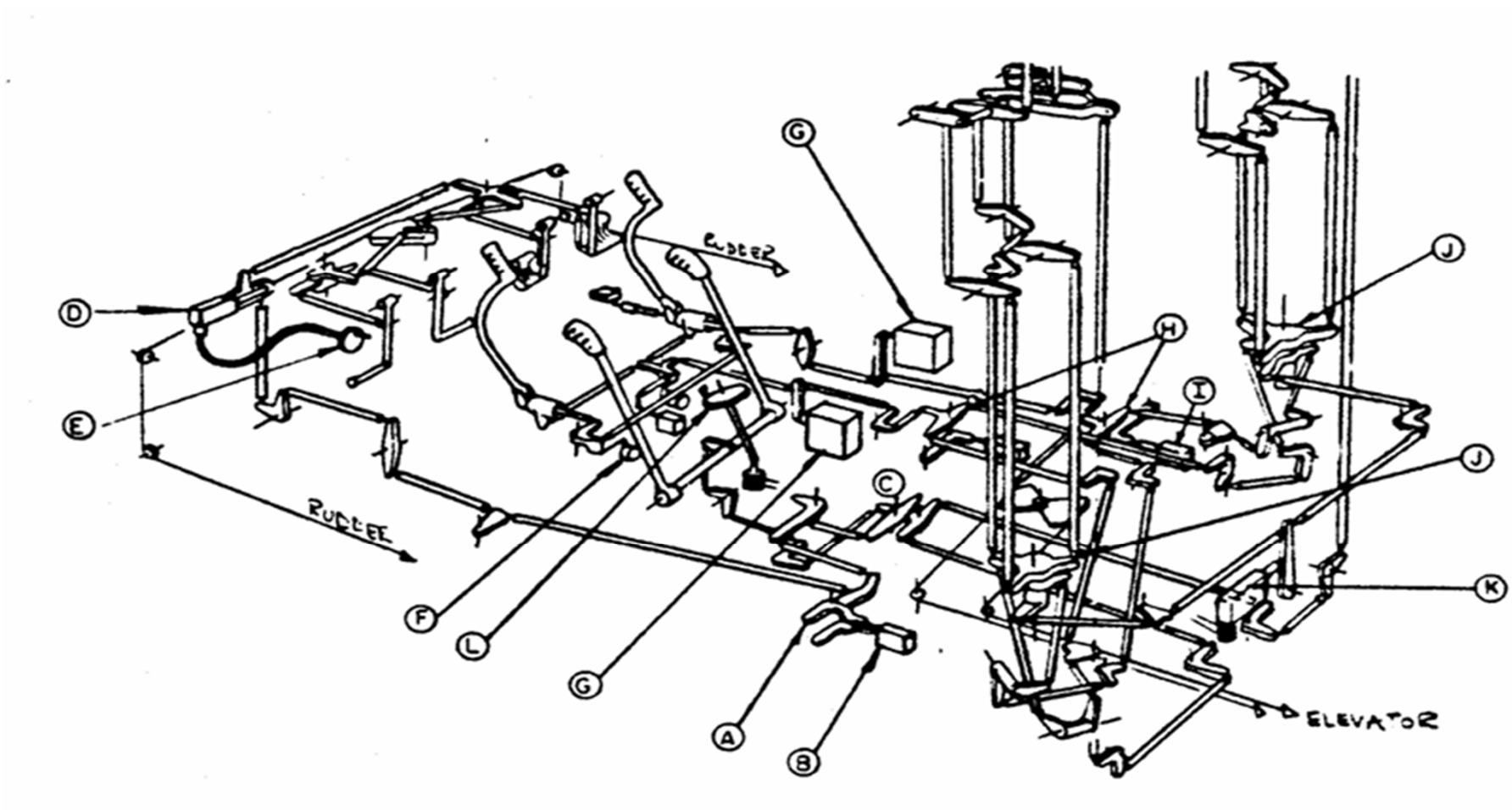
Comparison of Legacy and Electrical Swashplate Primary Control System





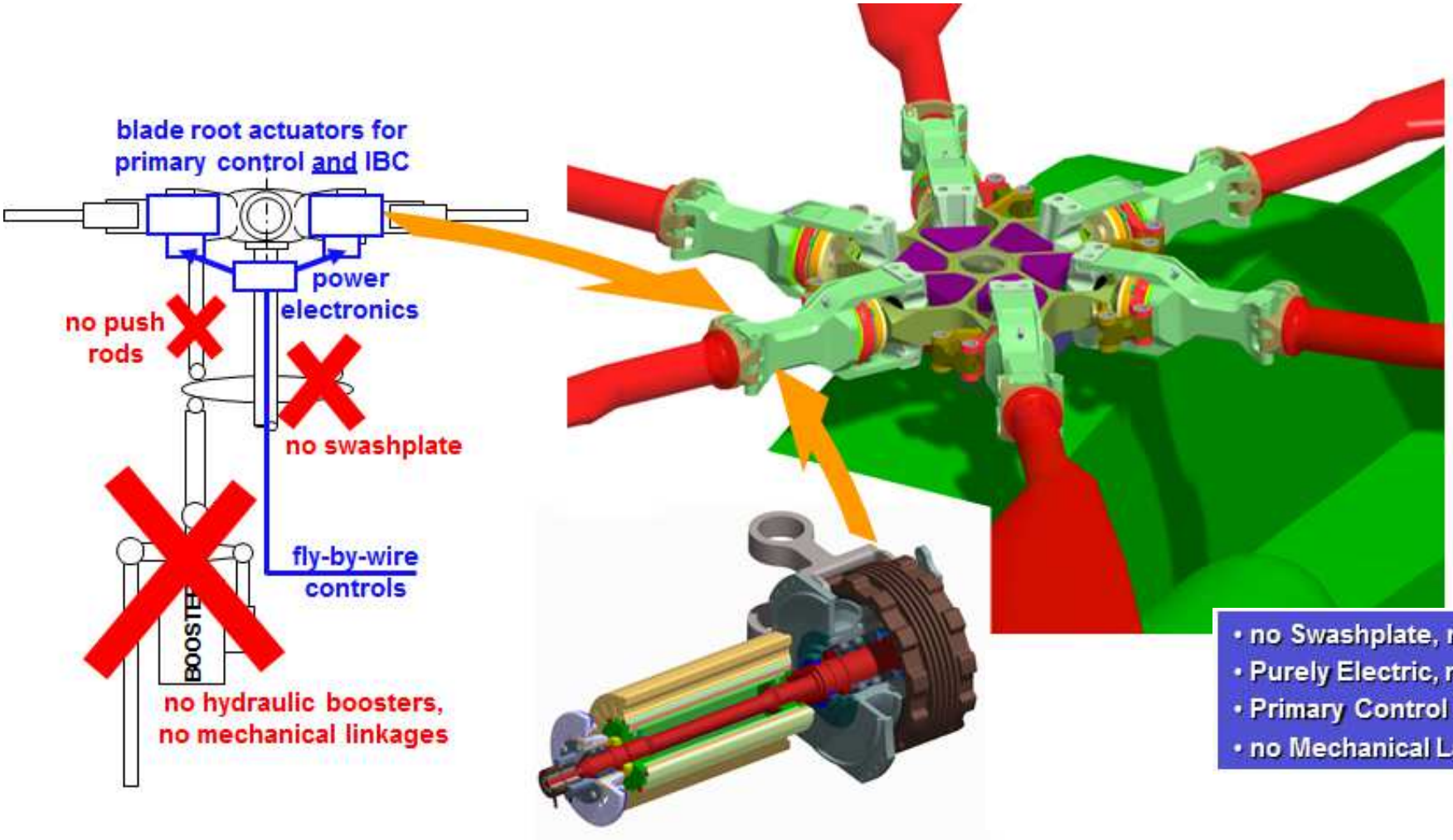
© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Mechanical Complexity of Conventional Primary Control Systems for Coaxial Rotor Systems with Independent Cyclic Control



© ZF Friedrichshafen AG, 2018

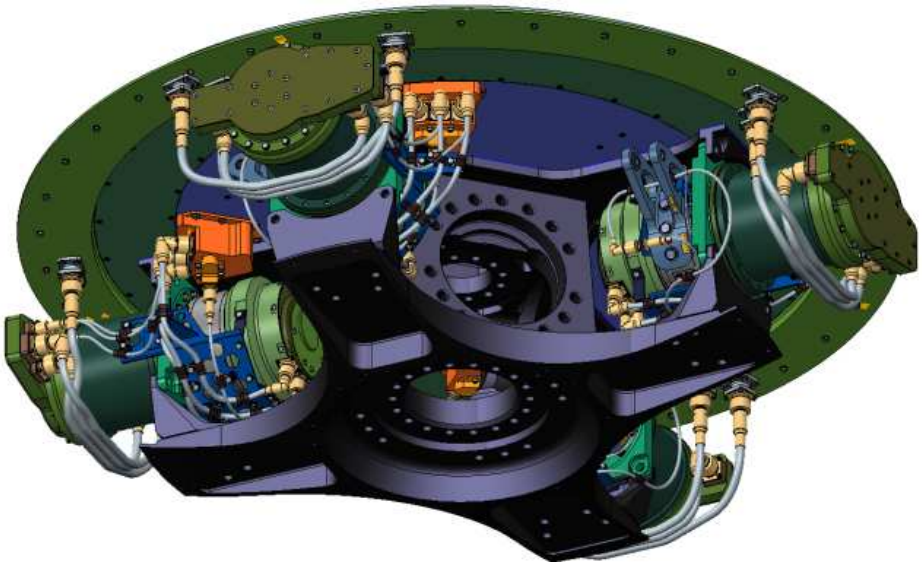
Swashplateless Electrical Individual Blade Root Control System for Both Primary Control and IBC Functionalities



- no Swashplate, no Linkages
- Purely Electric, no Hydraulics
- Primary Control + IBC
- no Mechanical Lag Dampers

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Swashplateless Electrical Primary/IBC Control System: Key Features

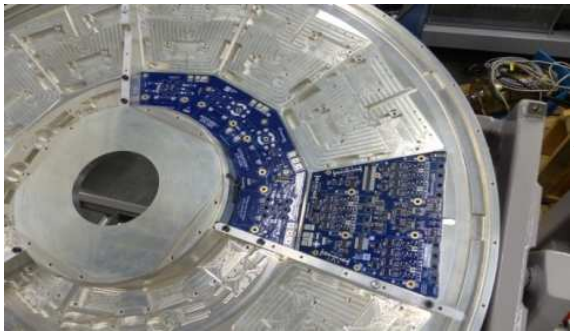


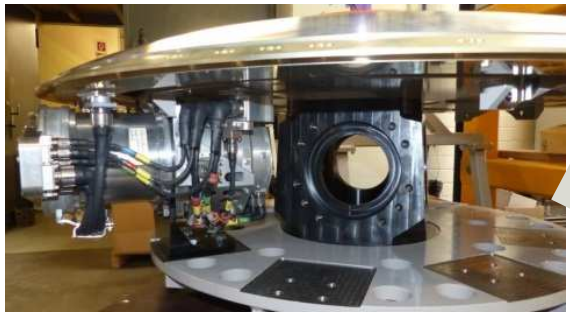
Rotor Hub of Full-Scale High Speed Helicopter Wind Tunnel Test Specimen (Blades not Shown)

- Worldwide first helicopter swashplateless and electrical primary control system
- Purely electrical, inherently fly-by-wire capable
- Replaces all mechanical and hydraulic control elements from pilot to blade
- Energy recuperation reduces control power requirement
- All Individual Blade Control (IBC) benefits included
- Weight reduction compared to conventional control system plus IBC
- Triplex or quadruplex redundancy architecture
- Designed for Certification according to civil standards (10^{-9}/FH)
- To be wind tunnel tested on genuine full-scale rotor with helicopter OEM

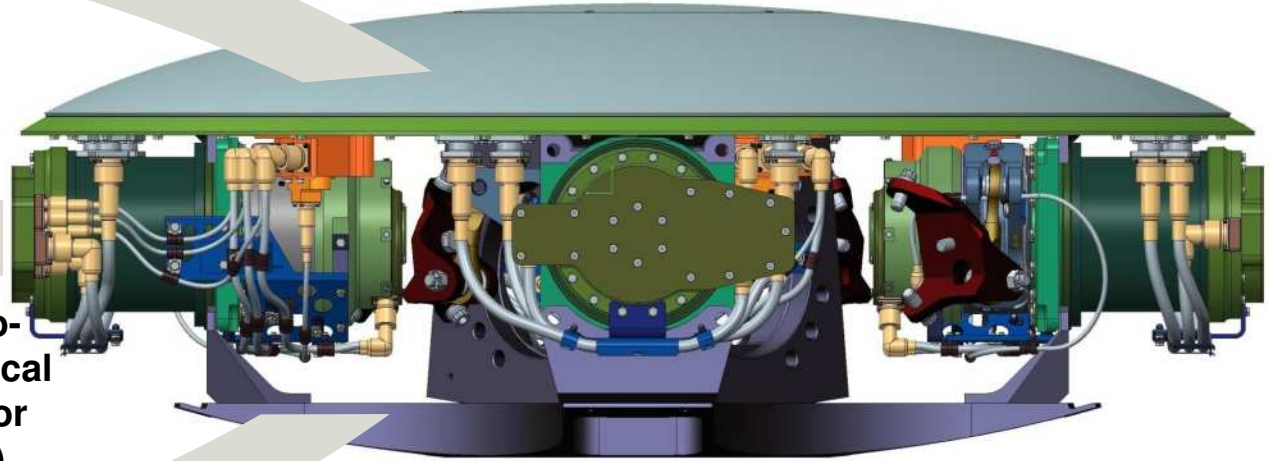
© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Swashplateless Electrical Primary/IBC Control System: Assembly of Wind Tunnel Test System





Hub Fairing Houses Triplex Redundant Actuator Control Computer, DC-Link and Power Electronics

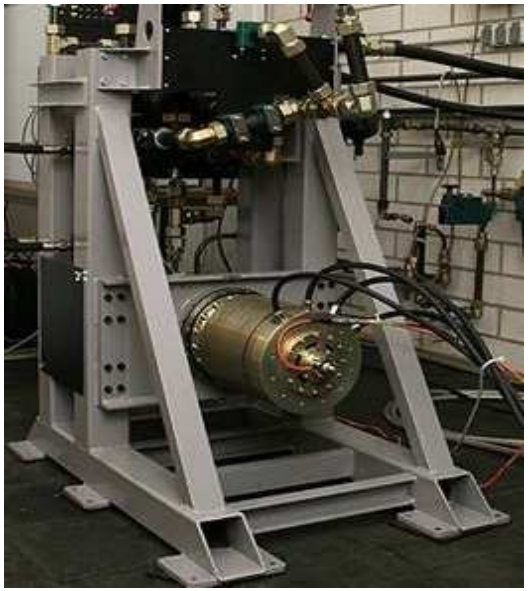


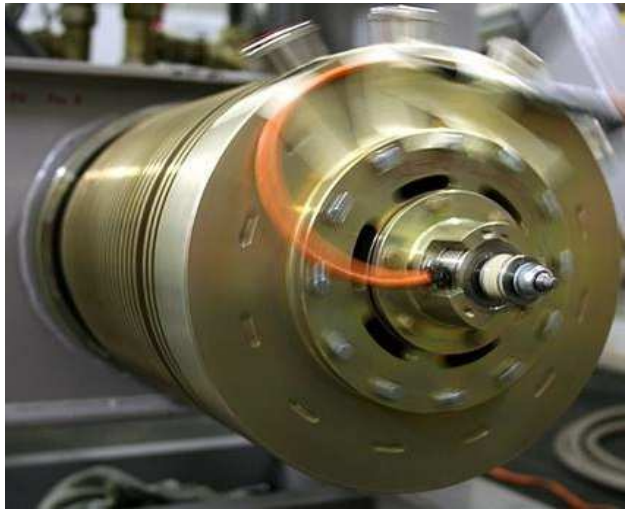
Electro-Mechanical Actuator (EMA)

Rotor Hub Structure with One Actuator Mounted

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Actuator Rig Tests with Blade Load and Centrifugal Force Simulation





© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Scheduled Wind Tunnel Testing of the Swashplateless Electrical Primary Control / IBC System on a Full Scale Rotor

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

01 Hintergrund / Motivation

02 Die „elektrischen“ Anteile der Technologie RoadMap

- Überblick
- Begriffsbestimmungen

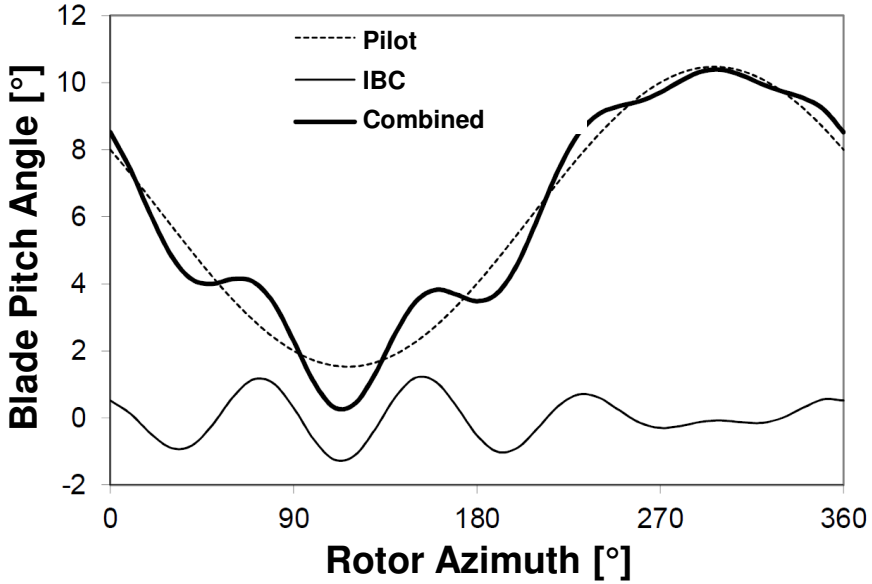
02 Beispiele aus dem Bereich der Hubschrauber-Steuerungssysteme

- 1:1-Ersatz konventioneller Systeme
- Die Chance zu neuen Topologien
- Erweiterte Funktionalitäten

03 Resümee, Ausblick

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

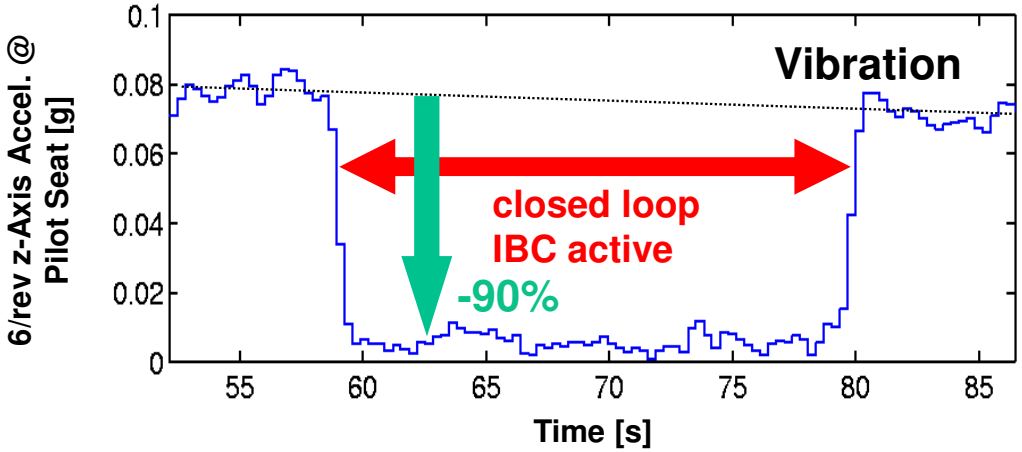
Individual Blade Control (IBC) Systems Features

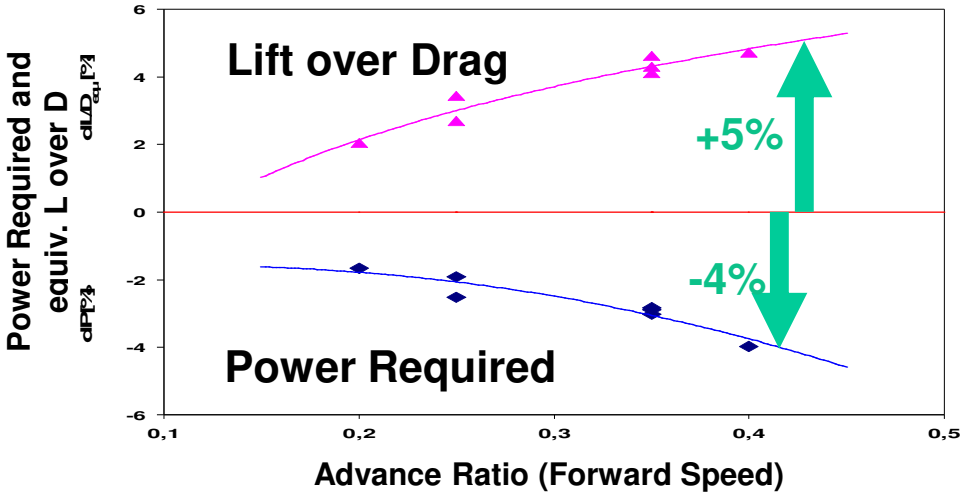


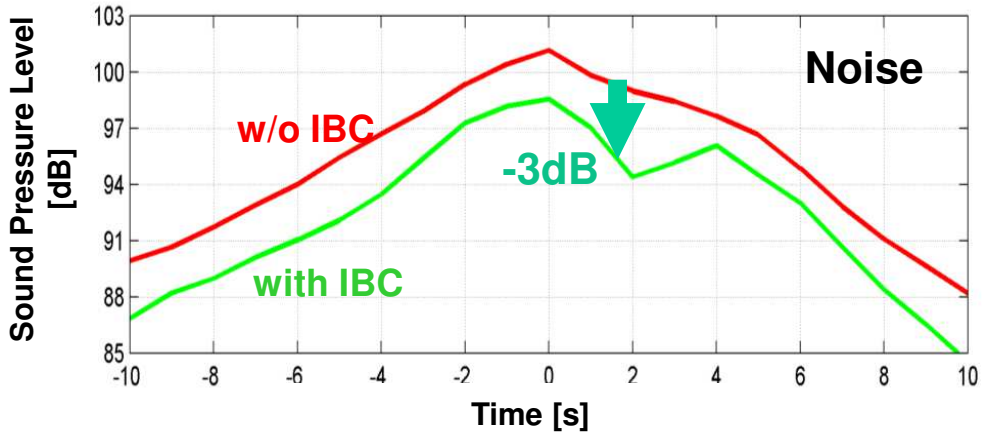
- IBC system complements the existing primary control
- Successfully demonstrated on multiple platforms
- Proven benefits (wind tunnel and flight tests):
  - Vibrations -90%
  - Radiated Noise -3…-6dB
  - Power Required of Main Rotor -5%
  - Simplified Rotor Track and Balance
  - Reconfiguration after blade (battle) damages

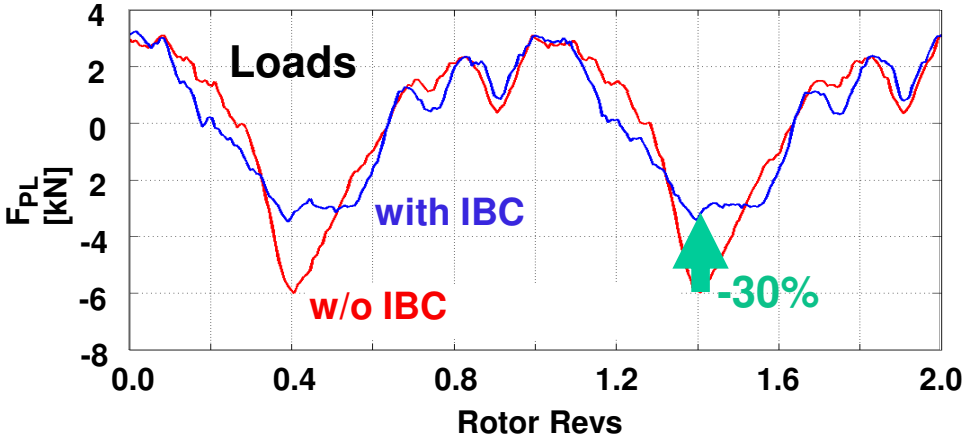
© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Examples of Benefits through the Application of IBC (Flight and Wind Tunnel Test Results: CH-53, UH-60)









© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Electrically Driven and Controlled Tail Rotor

- No drive train, no gearboxes, no hydraulics ➔ reduced maintenance effort and cost
- Main and tail rotor RPM decoupled ➔ optimum tail rotor efficiency through adaptive RPM
- High yaw agility through simultaneous blade pitch and RPM control
- Fast shut down and restart during short pick-ups for safe ground operation
- Redundant and spatially distributed power and signal lines for improved safety
- Reduced Noise Radiation
- Maximum design flexibility

[2]

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

01 Hintergrund / Motivation

02 Die „elektrischen“ Anteile der Technologie RoadMap

- Überblick
- Begriffsbestimmungen

02 Beispiele aus dem Bereich der Hubschrauber-Steuerungssysteme

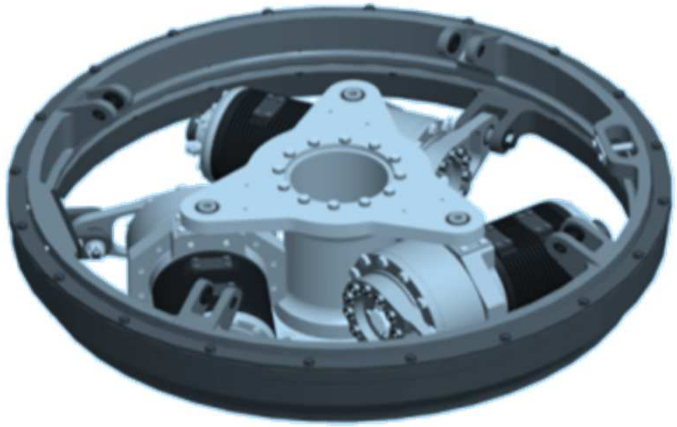
- 1:1-Ersatz konventioneller Systeme
- Die Chance zu neuen Topologien
- Erweiterte Funktionalitäten

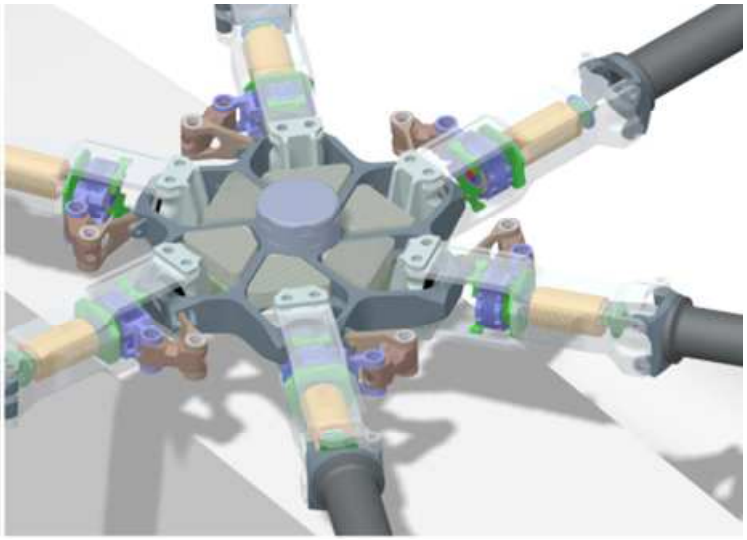
03 Resümee, Ausblick

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Resümee More-Electric im Bereich Steuerungssysteme

- More-Electric Ansatz wird auch in der Luftfahrt fortschreiten, die Elektrifizierung der (Primär-) Steuerung ist der nächste logische Schritt (vgl. elektr. PKW-Lenkung)
- Elektrische Aktuatorik ist die ideale Ergänzung zum Fly-by-Wire
- Die Primärsteuerung ist der einzige ernsthafte Grund, an der Hydraulik festzuhalten
- Die Technologie gewinnt auch für Hubschrauber an Reife; Windkanalversuche in Partnerschaft mit Hubschrauberhersteller stehen bevor

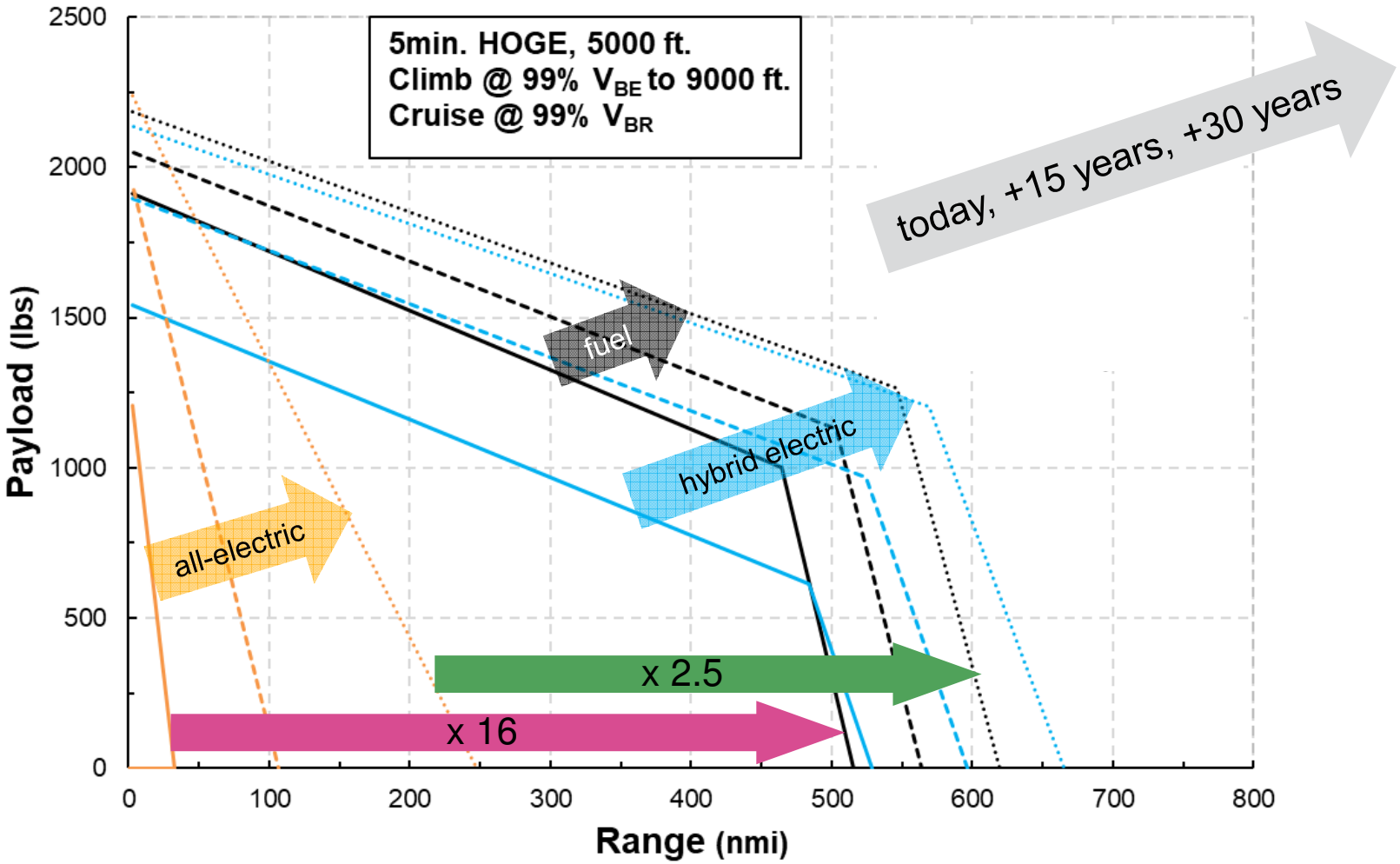




- Reduzierte Komplexität, vereinfachte Wartung
- Wegfall aller mit der Hilfsenergie Hydraulik verbundenen Nachteile
- Viele operationelle Vorteile durch Zusatzfunktionalitäten
- Höhere Verfügbarkeit
- Reduzierte Betriebskosten

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Resümee All-Electric: z.B. Nutzlast-Reichweiten-Diagramm für leichten Hubschrauber mit (hybrid-)elektrischem Primärantrieb



[3]

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Welche weiteren Herausforderungen sind zu erwarten (insbesondere auch bzgl. Urban Air Mobility Konzepten ?

Recht, Sicherheit

- Zulassungsvorschriften noch auf konventionelle Technologien ausgerichtet
- ATM nicht auf viele niedrig und ggf. sogar autonom fliegende Fluggeräte ausgelegt; (internationaler) Rechtsrahmen fehlt
- Cyber-Sicherheit bekommt höhere Relevanz

Passagier, Gesellschaft

- Werden sich die Passagiere an die Flugeigenschaften der kleinen Fluggeräte gewöhnen?
- Werden wir ausreichend viele lokale Landeplätze genehmigt bekommen?
- Werden sich die Anwohner an häufigere Überflüge (und auch Unfälle in ihrem Vorgarten) von surrenden Air Taxis (wie beim Auto) gewöhnen?

Markt

- Sind die Passagiere bereit, höhere Preise zu bezahlen (vgl. e-Auto)?
- Sind die Nutzer bereit, Reichweiteneinbußen zu akzeptieren?
- Wo kommen die vielen Piloten für die Air Taxis her, wer bildet aus und bezahlt sie?

© ZF Friedrichshafen AG, 2018

Referenzen

[1] Wayne Johnson, Christopher Silva: „Conceptual Design of eVTOL Aircraft“, Short Course on Electric VTOL, AHS 74th Annual Forum, Phoenix, Arizona, 2018

[2] Zu, C.X. & Li, H.: “Thermodynamic analysis on energy densities of batteries”, Energy Environ.Sci. 4, S. 2614-2624, 2011

[3] Reed Danis: „Examining the Conceptual Design Process for Future Hybrid-Electric Rotorcraft“, Short Course on Electric VTOL, AHS 74th Annual Forum, Phoenix, Arizona, 2018

[4] Mike Ricci: „Permanent Magnet Motors for Aircraft Propulsion”, Short Course on Electric VTOL, AHS 74th Annual Forum, Phoenix, Arizona, 2018

[5] University of Nottingham: “Electrical Machines for Aerospace Applications”, Roland Berger

[6] http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/21789/PDF-A-2b-red.pdf

[7] https://www.whipactsys.com/flight-control/

[8] Andrea Castellini: „Analysis and design of a Linear Electro-Mechanical Actuator for high lift system“

[9] https://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10204/296_read-931/#/gallery/2079

[10] http://magazine.fev.com/en/integration-fuel-cell-range-extender-subcompact-category-vehicle/

[11] Arnold et al.: “Development of an Integrated Electrical Swashplateless Primary and Individual Blade Control System”, 63th Forum of American Helicopter Society, 2007, Virginia Beach

[12] Arnold, Hausberg: “Development and Testing of an Electrical Swashplate”, 39th European Rotorcraft Forum, 2013, Moskau

 © ZF Friedrichshafen AG, 2018

Danke für Ihre Aufmerksamkeit !

ZF Friedrichshafen AG behält sich sämtliche Rechte an den gezeigten technischen Informationen einschließlich der Rechte zur Hinterlegung von Schutzrechtsanmeldungen und an daraus entstehenden Schutzrechten im In- und Ausland vor.
ZF Friedrichshafen AG reserves all rights regarding the shown technical information including the right to file industrial property right applications and the industrial property rights resulting from these in Germany and abroad.