

---

**Vorwort:**  
**Nachhaltigkeit als Bestandteil der Lufthansa-Strategie**

---

Die Deutsche Lufthansa Group ist eine weltweit operierendes Luftverkehrsunternehmen mit mehr als 500 Tochterunternehmen und Beteiligungsgesellschaften. Die unternehmerischen Tätigkeiten sind in die fünf Geschäftsfelder Passage Airline Gruppe (Kerngeschäft), Logistik, Technik, IT Services und Catering untergliedert. Die Lufthansa Group hat weltweit mehr als 118.000 Mitarbeiter und beförderte im Jahr 2013 mehr als 104 Millionen Fluggäste.

Für einen Konzern dieser Größenordnung ist ein nachhaltiges und verantwortungsbewusstes unternehmerisches Handeln von existentieller Bedeutung. Corporate Responsibility ist ein integraler Bestandteil der Lufthansa Group.

Die Lufthansa Group hat sich zum Ziel gesetzt, den Unternehmenswert zu steigern, die führende Marktposition durch eine aktive Mitgestaltung der Luftfahrtbranche auszubauen, die Kundenzufriedenheit kontinuierlich zu verbessern, sowie ökonomisch und ökologisch nachhaltig zu wirtschaften. Dies wird auch im Mission Statement des Unternehmens deutlich:

*"Wir fühlen uns dem Prinzip der nachhaltigen Entwicklung verpflichtet und nehmen unsere ökologische, gesellschaftliche und soziale Verantwortung wahr."*

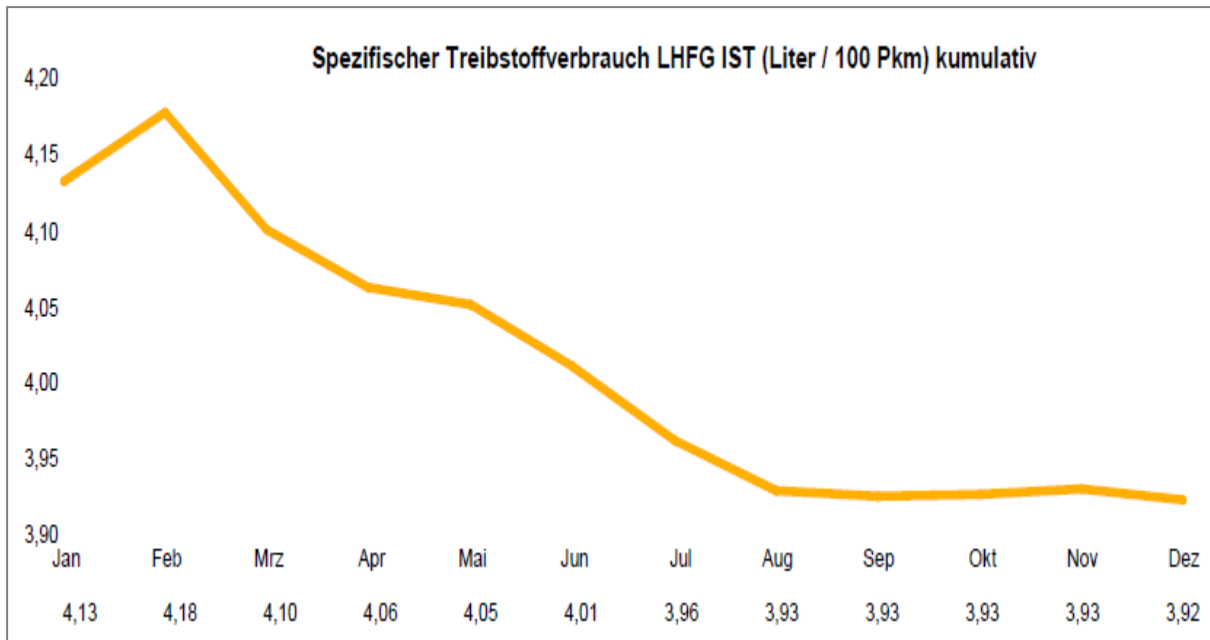
Um Corporate Responsibility in all ihren Dimensionen darzustellen und für die Anspruchsgruppen nachvollziehbar zu machen, hat die Lufthansa Group ein aus fünf Dimensionen bestehendes Modell entwickelt.



**Abb. 1: Die 5 CR Dimensionen der Lufthansa**

Im Zentrum der Aufmerksamkeit stehen die Kunden und ihr Mobilitätsbedarf. Die Lufthansa Group setzt bei der wirtschaftlichen Nachhaltigkeit auf langfristige Wertschöpfung, eine umsichtige Steuerung von Chancen und Risiken, ein konsequentes Management ihrer Lieferketten und einen konstruktiven Dialog mit den zahlreichen Anspruchsgruppen. Nachhaltiges Wirtschaften soll den Unternehmenswert weiter steigern.

Die kontinuierliche Senkung des Treibstoffverbrauchs stellt dabei ein ganz wesentliches Element dar. Der durchschnittliche Treibstoffverbrauch konnte 2012 erstmalig auf einen Wert unter 4 Liter pro 100 km und befördertem Passagier gesenkt werden, und sinkt kontinuierlich weiter.



**Abb.:1: Entwicklung Treibstoff-Verbrauch pro 100 Passagier-Kilometer (2012)**

Wesentliche Handlungsfelder für die kontinuierliche Senkung des Treibstoffverbrauchs liegen in:

- Technischem Fortschritt: Z.B. Einsatz neuer Flugzeug-Typen, effizientere Flugzeugtriebwerke, Umrüstung bestehender Flotten, z.B. mit Sharklets.
- Verbesserte Infrastruktur: Z.B. bessere Nutzung der Lufträume, bedarfsgerechte Flughafen-Infrastruktur

Auch am Boden kann durch Vermeidung und Minimierung der Nutzung von Triebwerken und Hilfstriebwerken (Auxiliary Power Unit, APU), der Treibstoffverbrauch gesenkt werden. Der Hauptfokus liegt auf der Elektrifizierung der Abfertigungsprozesse, und dabei insbesondere auf den Rollvorgängen des Flugzeugs.

---

## 1 Abfertigung

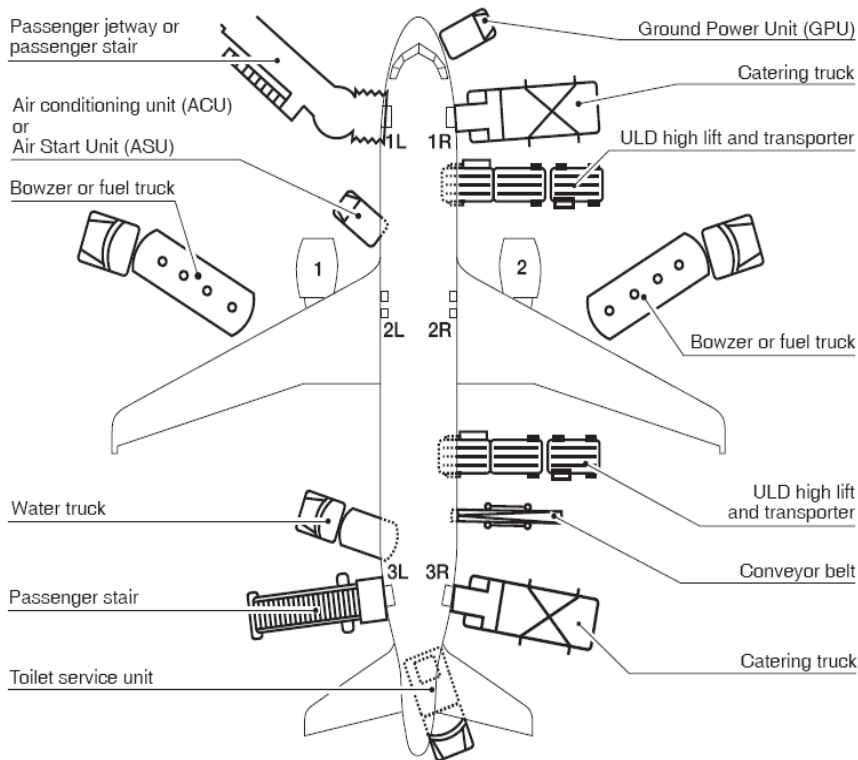
---

Die Abfertigung eines Flugzeugs am Boden ist eine Abfolge von Prozessen, die meist unter großem Zeit- und Kostendruck in genauer Abstimmung und Abfolge durchgeführt werden. Um die Auslastung der Produktionsmittel einer Fluggesellschaft möglichst optimal zu gestalten, sind die Bodenzeiten der Flugzeuge möglichst gering zu halten. Der sogenannte „Turnaround“ eines Flugzeugs, mit dem eine gesamte Abfertigung von der Landung bis zum Start umschrieben wird, ist zeitlich zu minimieren. Ebenso werden alle Teilprozesse eines Turnarounds aufgrund des großen Kostendrucks, unter denen die meisten Fluggesellschaften operieren, einer ständigen Kostenoptimierung unterzogen. Ein Weg dabei ist die Vermeidung von teurem Kerosin oder zumindest die Senkung des Treibstoff-Verbrauchs für das Bewegen von Flugzeugen am Boden, sowie der Einsatz von nachhaltigen, elektrisch betriebenen Fahrzeugen und Gerätschaften, wo immer dies möglich und sinnvoll ist.

### 1.1 Abfertigungsprozesse

Der Turnaround -also der Abfertigungsprozess- lässt sich in 3 Hauptsegmente unterteilen:

1. Das Landen und Rollen des Flugzeugs an die Abfertigungsposition
2. Die Vorgänge an der Abfertigungsposition (Aussteigen, Entladen, Reinigen, Beladen und Einsteigen)
3. Das Rollen des Flugzeugs zur Startposition.



**Abb. 3: Bodenabfertigung**

In den beiden Rollsegmenten werden i.d.R. die Triebwerke des Flugzeugs als Antriebe genutzt, was mit erheblichem Kerosin-Verbrauch, Emissionen und Bodenlärm verbunden ist.

Bei Umparkvorgängen, PushBacks und an den Abfertigungsposition sind an den einzelnen Arbeitsschritten eine Vielzahl i.d.R. Diesel betriebener Fahrzeuge beteiligt: Flugzeugschlepper, Catering Trucks, Wasser-Trucks, fahrbare Passagiertreppen, High-Lifter, Zugmaschinen, Busse etc.

---

## 1.2 Grüne Abfertigung

Die „Grüne Abfertigung“ wird den Produktionsprozess am Boden nachhaltig gestalten: Neben dem Lufthansa-Schwerpunkt, den im Flug entstehenden Treibstoff-Verbrauch zu verringern, gilt es, die durch Roll -und Schleppvorgänge entstehenden Emissionen zu reduzieren.

Die Lufthansa Group hat in diesem Bereich drei innovative Projekte aufgesetzt, die u.a. durch Schleppfahrzeug-Hersteller, Flugzeug-Hersteller und die Technische Universität Darmstadt begleitet werden. Ziel hierbei ist es, die Triebwerke der Flugzeuge so wenig möglich als Antrieb am Boden zu nutzen. Ebenfalls können Flugzeug-Schlepper, Catering-Fahrzeuge, Wasser-Trucks, Passagiertreppen, High-Lifter und Förderwagen -wo immer möglich- mit elektrischen Antrieben versehen werden.

Ein „grüner Abfertigungsprozess“ ist dann erreicht, wenn der überwiegende Anteil der genutzten Antriebe der einzelnen Abfertigungsprozesse emissionsfrei gestaltet werden kann. Dies wird mit Elektromobilität erreicht. Am Flughafen Frankfurt werden aktuell in einer Reihe von Projekten die Möglichkeiten von Elektromobilität erforscht und in der Praxis getestet. Ziel dabei ist es, die „grüne Abfertigung“ zu realisieren.

---

## 2 „E-PORT AN“ am Flughafen Frankfurt

---

E-PORT AN bündelt alle eigenständigen Elektromobilitäts-Projekte am Frankfurter Flughafen. Fraport und Lufthansa sorgen gemeinsam für eine elektromobile, leisere und emissionsärmere Abfertigung am Boden.



**Abb. 4: E-PORT AN**

Neben den im Folgenden ausgeführten Projekten der Lufthansa betreibt und testet Fraport die Praxistauglichkeit von elektrischen Zugmaschinen, Container-Hub-Geräten, Förderbandwagen, Passagiertreppen sowie Pkw, Kleinlaster und Kleinbusse für Transporte von und zur Abfertigungsposition.

E-PORT AN kommuniziert die Gesamtheit der Maßnahmen sowie Neuerungen, Highlights und Entwicklungsfortschritte.

Weitere Partner sind das Land Hessen und die Modellregion Rhein-Main.

Im Frühjahr 2014 wurde E-PORT AN mit dem GreenTec Award in der Kategorie Luftfahrt ausgezeichnet. Der GreenTec Award ist angabegemäß der bedeutendste europäische Nachhaltigkeitspreis.





**Abb. 5: Preisverleihung GreenTec Award**

**V.l.n.r.: Bernhard Weiß, Projekt-Ingenieur TaxiBot; Janine Mielzarek, Projekt-Management Modellregion Rhein-Main der Stadtwerke Offenbach Holding; Markus Pauly, Kaufmännischer Leiter Lufthansa Frankfurt; Jutta Ziemer-Graves, Konsortialführung Airport eMove; Anja Georgi, Leitung Modellregion Rhein-Main der Stadtwerke Offenbach Holding; August Wilhelm Henningsen, Vorstand Lufthansa Technik; Alexander Laukenmann, Bereichsleitung Umwelt-Management Fraport; Andreas Eibensteiner, Umwelt-Management Fraport**



---

### 3 Die Elektromobilitäts-Projekte der Lufthansa Group

---

Am Flughafen Frankfurt starten und landen täglich über 1.300 Flugzeuge. Dieser ökonomische Erfolg soll durch die Minimierung der ökologischen Belastung durch den Luftverkehr weiter ausgebaut werden: Ohne dass ein Flugzeug auch nur einen Passagier oder eine einzige Palette Fracht in die Luft gebracht hat, entsteht bereits am Boden nicht nur Lärm durch die laufenden Triebwerke, sondern auch Abgase, und zwar mehr als in der Luft, denn Flugzeugmotoren sind für den Flug in großen Höhen optimiert. Dem sollen neue Technologien und Änderungen in den operationellen Prozessen am Flughafen entgegenwirken. Ein wesentlicher Faktor hierfür ist, dass Triebwerke am Boden nicht länger laufen sollten als unbedingt notwendig – die Minimalanforderung hierfür ist ein Warmlaufen für ca. drei Minuten unmittelbar vor dem Start<sup>1</sup>. Eine Alternative zum Rollen mittels Triebwerksschub stellt das Schleppen dar, welches jedoch bislang leistungsstarke Dieselmotoren mit einem entsprechendem Treibstoffverbrauch und Lärmentwicklung erfordert.

Mit konventionellen technologischen Ansätzen ist die dargestellte Problematik nicht zu lösen. Daher werden im Konsortial-Vorhaben Airport eMove alternative Konzepte und Technologien entwickelt, untersucht und bewertet, welche die Möglichkeit bieten, den Treibstoffverbrauch und damit die Emissionsbelastungen durch das Schleppen und Rollen von Flugzeugen an Flughäfen deutlich zu reduzieren. Die inhaltlichen Arbeiten in den Projekten dieses Vorhabens haben das Ziel, den Elektrifizierungsgrad der Fortbewegung von Flugzeugen am Boden deutlich gegenüber dem Ist-Stand zu erhöhen und sollen perspektivisch die Nutzungsmöglichkeiten von alternativen Energielieferanten, wie z.B. Brennstoffzellen, in diesem Bereich aufzeigen. Das Projekt „eTaxi“ beschäftigt sich mit der Elektrifizierung von Kurzstrecken-Flugzeugen zum Rollen, die Projekte „eSchlepper“ und „TaxiBot“ sollen das Schleppen von Flugzeugen von der technologischen und operationellen Seite untersuchen und die Möglichkeiten von Elektroantrieben in diesem Bereich aufzeigen.

---

<sup>1</sup> Für einzelne Flugzeugmuster können die Anforderungen abweichen.

---

Als Kernpunkte stellen sich dar:

- Entwicklung ökologischer Konzepte für das Rollen (Taxiing) und Schleppen von Flugzeugen
- Ressourcen-Schonung
  - Verminderung von Lärm und Schadstoffen
  - Einsparen von Kerosin / Diesel
  - Optimierte Nutzung von Motoren und Bremsen
- Optimierte Arbeitsbedingungen auf dem Flughafen-Vorfeld

Die Haupt-Aktivitäten der Lufthansa Group im Bereich Elektromobilität konzentrieren sich auf vier von der Bundesregierung geförderte Projekte. Drei befassen sich mit dem elektrischen Rollen und Schleppen von Fahrzeugen, das vierte mit der Entwicklung eines Catering-Hubwagens sowohl mit elektrischem Antrieb als auch elektrischem Hub.

### **3.1 eTaxi**

Das Projekt eTaxi soll das Rollen zur und von der Start- / Landebahn durch ein mit einem Elektromotor angetriebenes Fahrwerk ohne Einsatz der Flugzeug-Triebwerke ermöglichen und prototypisch untersuchen.

#### **3.1.1 Rahmendaten**

- Ziel: Entwicklung, Integration, Test und Vorbereitung der Zulassung eines elektrischen Antriebs und standort-unabhängigen Rollkonzepts
- Laufzeit: 2,5 Jahre
- Partner: in Verhandlung (Flugzeug- und Fahrwerks-Hersteller)

---

### 3.1.2 Projekt-Beschreibung

Im Zentrum der Arbeiten steht zum einen die technische Integration des angetriebenen Flugzeug-Fahrwerks in die Flugzeugsysteme, und zum anderen die operative Umsetzung des Rollens (Taxiing) von derart ausgerüsteten Flugzeugen. Die elektrische Energie für den Antrieb soll von der im Flugzeug integrierten Hilfsturbine (Auxiliary Power Unit, APU) bereitgestellt werden. Kraftstoffverbrauch und Emissionen (Lärm, Schadstoffe, Feinstaub, etc.) werden so am Boden auf ein Mindestmaß reduziert. Im Weiteren ergibt sich durch den Einsatz des elektrischen Rollantriebs eine Verlängerung der Bremsen- und Triebwerks-Lebensdauer.



**Abb. 6: eTaxi**

Die Entwicklung eines effizienten Elektromotor-Konzepts im Rahmen des Projekts eTaxi hat zum Ziel, die Nachrüstung auf bestehenden Flotten (Retrofit) zu ermöglichen.

Des Weiteren sollen auch die durch die Nutzung von eTaxi erforderlich werden- den Anpassungen der operationellen Betriebsabläufe an Flughäfen untersucht und bewertet werden. Ein besonders großer wirtschaftlicher Nutzen des Einsatzes von eTaxi ergibt sich hierbei für Kurzstreckenflugzeuge, die aufgrund kurzer Flugstrecken und mehreren Flügen pro Tag ein hohes Verhältnis von Rollzeit zu reiner Flugzeit aufweisen. Da die Technologie im Flugzeug integriert wird, können die Einsparungen ortsunabhängig realisiert werden.

---

eTaxi stellt einen völlig neuen Ansatz für das Rollen von Flugzeugen am Boden dar. Heutige Flugzeug-Antriebe werden ausschließlich durch thermodynamische Maschinen realisiert. Eine Elektrifizierung, auch auf niedrigem Level, ist nicht gegeben. Vor diesem Hintergrund stellt das Projekt eTaxi einen ersten Schritt in eine breitere Nutzung elektrischer Antriebsaggregate im Luftfahrtsektor dar. Insbesondere die adressierte Nachrüst-Lösung für bestehende Flotten kann schon mittelfristig eine breitere Nutzung elektrischer Bodenantriebe ermöglichen. Die Adaption auf zukünftige Flugzeugmuster bedeutet auch langfristig einen enormen Technologiesprung.

eTaxi verfolgt die Implementierung einer elektrischen Antriebslösung in das Hauptfahrwerk eines Flugzeugs. Die Umsetzung der Arbeiten in diesem Vorhaben schafft die technischen, wirtschaftlichen und zulassungsrelevanten Voraussetzungen, die Technologie des elektrischen Antriebes in bestehende Flugzeugmuster der Kurzstrecke mit einer Kapazität von mehr als 50 Sitzplätzen zu integrieren. Das Flugzeug verfügt heute über eine auf seinen Bedarf angepasste Energieversorgung. Die Einbringung eines zusätzlichen Konsumenten führt abhängig vom Verbrauch zu einer Veränderung des Betriebspunkts - dies gilt insbesondere für die Integration in das Gesamtsystem eines bestehenden Flugzeugs. Dabei steht das vom Elektromotor bewirkte maximale Lastverhalten in direktem Zusammenhang mit der geforderten maximalen Endgeschwindigkeit.

Darüber hinaus müssen Aspekte der Prozessänderungen an Flughäfen sowie die Möglichkeiten der Skalierbarkeit und Übertragung der erarbeiteten Konzepte auf andere Flughäfen und Regionen erarbeitet werden.

---

Das Hauptziel des Teilprojekts eTaxi ist somit der Nachweis der technischen und operativen Umsetzbarkeit eines elektrisch angetriebenen Hauptfahrwerks und alle damit verbundenen Nachweise der wirtschaftlichen Anwendbarkeit inklusive dem Aufbau eines Prototyps. Im Detail müssen zur Erreichung des Hauptziels folgende wissenschaftlichen und technischen Teilziele erreicht werden:

- Erreichen des nötigen Beschleunigungs- und Ansprechverhaltens des Flugzeugs mit elektrischem Antrieb
- Minimierung des Systemgewichts der Antriebslösung bei gleichzeitigem Erreichen der benötigten Leistungen
- Erfüllung aller Anforderungen in Bezug auf eine mögliche Zulassung des Systems (zum Beispiel im Bereich Sicherheit)
- Nachweis der Eignung des Systems für alle auftretenden Umgebungsbedingungen und deren Schwankungen sowie äußere Einflüsse, wie beispielsweise Verschmutzungen
- Bereitstellung der Cockpit- und Bodenprozesse für den operativen Betrieb des eTaxi-Antriebs
- Durchführung einer standardisierten Bewertung der Wirtschaftlichkeit unter veränderten Betriebsbedingungen (geänderte Boden- und Cockpitprozesse, andere Flugpläne, etc.).
- Aufbau von wissenschaftlichen Erfahrungen im Bereich Emissions- und Prozessbewertung (Bodenprozesse) im Bereich der Luftfahrt.
- Entwicklung eines übergreifenden Konzepts für Ein- und Nachrüstvarianten
- Entwicklung von Wartungs- und Instandhaltungs-Konzepten

Darüber hinaus wird die Möglichkeit der Rückgewinnung von Energie beim Bremsvorgang (Rekuperation) untersucht. Neue Erkenntnisse zur Bremskraft-rückgewinnung aus den Projekten eTaxi, eSchlepper, TaxiBot und eLift können wechselseitig genutzt werden und einander ergänzen.

---

Durch eine ganzheitliche Betrachtung der technischen Entwicklung eines Rollantriebs (Prototyp), der für den Einsatz erforderlichen Verfahren sowohl auf Seiten der Flugzeugführung, der Bodenverkehrsabwicklung als auch der Bodenverkehrsführung, und der Beschreibung zukünftiger Nutzungs- und Betriebsmodelle, werden die genannten Effekte erst realisierbar.

### **3.2 TaxiBot**

Test eines Diesel-elektrisch betriebenen Flugzeug-Schleppers für Kurz- / Mittelstrecken-Flugzeuge, mit dessen Hilfe Verkehrsflugzeuge bei ausgeschalteten Triebwerken vom Gate zur Startbahn rollen. Technologieträger für einen gleichartigen Flugzeug-Schlepper für Langstrecken-Flugzeuge.

#### **3.2.1 Rahmendaten**

- Ziel:                   Zertifizierung, Test und Integration pilotengesteuerter Schleppvorgänge ohne Triebwerke mit Einsatz von Hybridtechnik
  
- Laufzeit:             3,5 Jahre
  
- Partner:
  - Israel Aerospace Industries
  - TLD
  - Fraport
  - TU Darmstadt



---

### 3.2.2 Projekt-Beschreibung

Das Projekt TaxiBot beschäftigt sich mit dem Testbetrieb eines pilotengesteuerten Flugzeug-Schleppers innerhalb des regulären Bodenbetriebs. Im Fokus der Untersuchungen steht hierbei das Rollen am Boden von beladenen Flugzeugen zur Startbahn.



**Abb. 7: TaxiBot**

Im Gegensatz zu dem in eTaxi untersuchten Konzept bietet es sich aufgrund eines verschobenen Verhältnisses von Boden- zu Flugzeit für Langstreckenflugzeuge derzeit nicht an, das Gewicht eines elektrischen Antriebs in das Flugzeug zu integrieren. TaxiBot ist daher als komplementär zu eTaxi zu betrachten.

Gegenüber der konventionellen Schlepptechnik behält der Pilot beim Schlepptvorgang mit TaxiBot die Kontrolle und damit die Verantwortung über das Flugzeug. Im Sommer 2014 beginnen umfangreiche Praxis-Tests („Beta-Operation“) mit einem in Vorarbeiten der LEOS entwickelten Prototypen, anhand dessen die Integration des TaxiBot in den bestehenden Flugbetrieb und die Anpassung der operationellen Prozesse untersucht werden soll. Die Erweiterung auf das Rollen nach der Landung zur Position ist für eine spätere Phase vorgesehen.

---

Der TaxiBot-Schlepper wurde prototypisch als diesel-elektrisches Fahrzeug ausgelegt. Eine Erweiterung des elektrischen Antriebs für Folge-Modelle wird geprüft.

Kernpunkte:

- TaxiBot zieht unter der Kontrolle des Piloten das Flugzeug ohne laufende Triebwerke zur Startbahn
  - Prozesstechnischer Hauptunterschied zu bisherigen stangenlosen Flugzeugschleppern
- Nahezu keine strukturelle Belastung des Bugfahrwerks:
  - Flugzeug bremst über eigene Bremsen wie bisher; TaxiBot bremst mit
  - Technischer Hauptunterschied zu bisherigen stangenlosen Flugzeugschleppern
- Unverändertes Rollverhalten aufgrund Allradlenkung des Schleppers: Flugzeug und Schlepper bleiben während des Rollens immer parallel zueinander
- Ohne Triebwerksleistung (=„Engines off“) zur Startbahn
  - Reduzierung der Lärmbelastung am Boden, da das Flugzeug mit ausgeschalteten Triebwerken rollt
  - Entlastung der Umwelt durch erhebliche Reduktion des Treibstoffverbrauchs am Boden und damit auch der CO<sub>2</sub>-Emissionen
  - Schonung der Triebwerke und Bremsen beim Rollen zur Startbahn
  - Vermeidung des Einsaugens von Fremdkörpern in die Triebwerke (Foreign Object Damage / Foreign Object Debris, „FOD“) am Boden



---

künftiger Nutzungs- und Betriebsmodelle sowie der Anschlussfähigkeit der Konzepte (inkl. Technologien) stehen im Fokus. Basierend auf den Erfahrungen des Teilprojektes soll die technische Auslegung des TaxiBot hin zu einem höheren Elektrifizierungsgrad beeinflusst werden, zum Beispiel als Hybrid. Um die Realisationsmöglichkeiten eines Hybridmodells zu optimieren, werden im Rahmen der Beta-Operation unter anderem die Art der Batterie, deren Kapazität und der Ladeanschluss untersucht. Die Suche von passenden Orten für die Ladestationen erfolgt koordiniert in Zusammenarbeit mit den Projekten eSchlepper und eLift.

In Workshops werden die gewonnenen Erkenntnisse auch zur Erarbeitung eines einheitlichen Batterie-Ladekonzepts gebündelt an die Hersteller weitergegeben.

Im operativen Bereich soll neben dem Rollen zum Startpunkt („Roll-Out“) zusätzlich das Rollen von der Landebahn zur Position („Roll-In“) ohne laufende Triebwerke mit TaxiBot untersucht werden.

Ziele des Projekts TaxiBot sind damit:

- Untersuchung der Möglichkeiten zur Integration von TaxiBot in die Bodenverkehrsabläufe an Flughäfen
- Bereitstellung der Cockpit- und Bodenprozesse für den operativen Betrieb des TaxiBot
- Erfüllung aller Anforderungen des TaxiBot-Konzepts hinsichtlich einer möglichen Zulassung im operationellen Flughafenbetrieb (z.B. Aspekte betreffend Sicherheit, Zuverlässigkeit u.a.)
- Untersuchung möglicher Betriebsmodelle und deren Implikationen (Sicherheit, Zertifizierbarkeit, u.a.)
- Untersuchung des Elektrifizierungs-Potenzials in Zusammenarbeit mit dem Projekt eSchlepper

---

### 3.3 eSchlepper

Das Projekt umfasst die Entwicklung eines stangenlosen Elektro-Schleppers zum Herausdrücken eines Flugzeugs aus der Abstell-Position (PushBack), Werftschlepp und Positionierung für Flugzeuge mit einem maximalen Startgewicht bis zu 600 Tonnen (bis Airbus A380). Die Einsatzmöglichkeiten eines elektrisch angetriebenen Schleppers werden denen eines Diesel-Schleppers gegenübergestellt und bewertet.

#### 3.3.1 Rahmendaten

- Ziel: Zertifizierung, Test und Integration eines stangenlosen Flugzeug-Schleppers mit PlugIn-Hybrid-Antrieb für Langstrecken-Flugzeuge (bis A380) auch über längere Schlepp-Distanzen hinweg
- Laufzeit: 3,5 Jahre
- Partner:
  - Kalmar Motor AB
  - Fraport
  - TU Darmstadt

#### 3.3.2 Projekt-Beschreibung

Der eSchlepper ist als PlugIn-hybrid-elektrisches Fahrzeug für Langstreckenflugzeuge konzipiert, das aufgrund eines eingebauten Range Extenders in der Lage ist, weite Schleppstrecken zu bewältigen. Kraftstoffverbrauch, Ölverbrauch und Emissionen (Lärm, Schadstoffe usw.) sollen dadurch deutlich verringert werden. Der Hauptfokus liegt in der Untersuchung der Effizienz des elektrischen Schleppens für den täglichen Betrieb am Flughafen. Fragestellungen betreffen somit die technologische Umsetzung und Effizienz des Konzepts für eine Serienreife. Im Rahmen des Projekts wird das Konzept des elektrisch angetriebenen Schleppers für Wartungsschlepps (unbeladene Flugzeuge, Schleppgeschwindigkeiten bis 25 km/h) untersucht.



**Abb. 8: eSchlepper**

Der eSchlepper nutzt neue Technologien, um mittels PlugIn-hybrid-elektrischen Antriebs den Kraftstoffverbrauch und Emissionsentwicklung zu reduzieren. Bisher verfügbare Elektroschlepper sind für kleinere Flugzeuge ausgelegt und können längere Schleppestrecken nicht bewältigen. Der Wirkungsgrad der verfügbaren Technologie von Elektroantrieben muss daher deutlich optimiert werden, um zukünftig Langstrecken-Flugzeuge über größere Distanzen zu schleppen.

Zielsetzung sind Entwicklung und Test eines auf PlugIn-Hybridbasis betriebenen stangenlosen Flugzeugschlepper-Demonstrators für Großraum-Flugzeuge, gemeinsam mit dem Schlepperhersteller Kalmar Motor AB.

Die Schlepper sollen für Werftschleppvorgänge und Flugzeug-Bereitstellungen über längere Strecken von 5-7 Kilometern sowie zum Herausdrücken von Großraum-Flugzeugen aus ihren Abstell-Positionen (PushBack) eingesetzt werden.

Als inhaltliche Schwerpunkte sind die Integration, der Test und die Analyse des eSchlepper-Demonstrators im täglichen Betrieb sowie der Nachweis der Wirtschaftlichkeit definiert. Diesem Schritt vorgeschaltet sind die Spezifikation, Entwicklung und Bau des Demonstrators, sowie anschließend die Zertifizierung des Fahrzeugs auf die zu bewegenden Flugzeuge.



---

Die gesammelten Erfahrungen und Erkenntnisse fließen in die Produktion eines Prototyps mit ein. Zielsetzung ist ein (prototypisch) ausgereifter eSchlepper, der einen konventionellen Schlepper ohne Einschränkungen ersetzen kann.

Ziele des Projekts eSchlepper sind im Einzelnen:

- Detaillierte Erarbeitung der Anforderungen und des Einsatzspektrums des eSchleppers und Ableitung von Spezifikationen für den Bau eines Prototyps
- Entwicklung eines eSchlepper-Demonstrators
- Erfüllung aller Anforderungen im Hinblick auf eine Zulassung des entwickelten eSchleppers für Wartungsschlepps
- Zertifizierung des eSchleppers
- Test des Demonstrators am Flughafen Frankfurt
- Analyse des Systemverhaltens unter Berücksichtigung unterschiedlicher Umweltbedingungen und äußerer Einflüsse
- Nachweis der technischen Eignung des entwickelten eSchleppers für die definierten Anforderungen
- Erreichen eines Elektrifizierungsgrads von 95% elektrisch zu 5% Diesel
- Abgleich der Lade-Infrastruktur mit den Projekten eLift und TaxiBot sowie Fraport-Projekten
- Überprüfung und Bewertung der Wirtschaftlichkeit des eSchleppers
- Erfüllung aller Anforderungen im Hinblick auf eine Zulassung des entwickelten eSchleppers für Wartungsschlepps
- Produktion eines eSchlepper-Prototyps

---

### 3.4 eLift

Das Projekt eLift befasst sich zwar nicht mit dem Rollen und Schleppen von Flugzeugen, doch sollen in der Entwicklung Synergien insbesondere in den Bereichen Lade-Infrastruktur und Vorfeld-Prozesse gehoben werden.

Das Projekt fokussiert auf die komplette Elektrifizierung eines Catering-Hubwagens. Als Basis dient ein E-Lkw. Der Kofferaufbau soll mit entsprechenden Elektroantrieben die identischen Funktionen erfüllen wie klassische Fahrzeuge. Zusätzliches Ziel ist auch eine wesentliche Verringerung sämtlicher Arten von Emissionen durch die Anwendung elektrischer Antriebsenergie, vorrangig Lärm und CO<sub>2</sub>. Das Ziel soll insbesondere auch in Zusammenarbeit mit den weiteren Projekten eTaxi, TaxiBot und eSchlepper am Frankfurter Flughafen realisiert werden.



Abb. 9: Catering-Hubwagen

---

### **3.4.1 Rahmendaten**

- Ziel: Entwicklung des Catering-Wagens der Zukunft auf Basis von emissionsfreier Elektromobilität
- Laufzeit: 3,5 Jahre
- Partner:
  - Doll Fahrzeugbau
  - euroEngineering
  - German E-Cars
  - TU Berlin

### **3.4.2 Projekt-Beschreibung**

Bei rund 400 Flügen am Tag allein in Frankfurt trägt eine Vielzahl an Quellen zu Emissionen bei, die im Rahmen dieses Projekt reduziert werden sollen, in erster Linie um Lärm und Abgasemissionen. Die LSG Sky Chefs FRA ZD GmbH und FRA International GmbH haben zusammen am Standort Frankfurt / Main ca. 170 Hubwagen, um die Rollschränke (Trolleys) mit Bord-Verpflegung und Ausstattung an die Flugzeuge zu bringen. In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern soll das Catering-Fahrzeug der Zukunft entwickelt werden, welches nicht nur über einen alternativen Antrieb, sondern auch über einen emissionsfreien Kofferaufbau mit Hubschere verfügt.

Gesamtziel des Projekts ist die mechanische und energetische Trennung von LKW-Fahrgestell und Catering-Aufbau. Die autonome Versorgung des Hubsystems bietet erhöhte Freiheitsgrade von zukünftigen Fahrzeug-Entwicklungen.

LSG Sky Chefs leistet damit auch ihren Beitrag zur nachhaltigen Reduktion von Schadstoffemissionen, Lärmbelastungen und Energieverbrauch zur Erreichung der Unternehmensziele der Lufthansa und die politischen Vorgaben zur CO<sub>2</sub>-Minderung. Hehres Ziel ist neben der Emissionsfreiheit auch der wirtschaftliche Betrieb. Projekt-Partner wie Doll Fahrzeugbau setzen die damit einhergehenden Forderungen fahrzeugseitig um.

---

Im Rahmen des Projektes sollen die folgenden wissenschaftlich-technischen Arbeitsziele erreicht werden:

- Erstellung Lastenheft für das LKW-Chassis auf elektrischer Basis
- Erarbeitung unterschiedlicher Konzepte für einen elektromechanisch angetriebenen Hub-Mechanismus unter Berücksichtigung der Ankopplung an das Zugfahrzeug
- Aufbau einer Umgebung zur numerischen Analyse unterschiedlicher Hub-Mechanismen
- Auswahl des vielversprechendsten Lösungskonzepts auf Basis der Analyse und Bewertung der Konzepte in der numerischen Simulations-Umgebung
- Anschaffung eines geeigneten Zugfahrzeugs mit elektrischem Antrieb
- Entwurf des elektrischen Bordnetzes und der Ansteuerungslogik für das ausgewählte Lösungskonzept
- Parametrisiertes CAD-Modell zur Bewertung und Konstruktion des Gesamtaufbaus und aller dazugehörigen Einzelteile bis zur Erstellung eines virtuellen Prototyps
- Aufbau eines realen Prototypen (Mechanik, Elektrik/Elektronik, Ansteuerung)
- Feldversuche mit dem Fahrzeugprototypen für typische Einsatz-Szenarien

Auf der wissenschaftlichen Seite wird ein weiterer Kompetenzgewinn in Bezug auf Elektrifizierung mobiler Arbeitsmaschinen und Schwerlast-Fahrzeuge sowie der numerischen Simulation solcher Systeme angestrebt.

---

### 3.5 Wissenschaftliche Begleitforschung

Die Technische Universität Darmstadt leistet die gemeinschaftliche wissenschaftliche Begleitforschung für die Projekte eTaxi, TaxiBot und eSchlepper (Airport eMove). Das Projekt eLift wird durch die Technische Universität Berlin betreut. Im Folgenden wird auf die wissenschaftliche Begleitforschung für die Projekte Airport eMove näher eingegangen.

Das Institut für Flugsysteme und Regelungstechnik (FSR) betreibt mit ca. 25 Mitarbeitern überwiegend anwendungsorientierte Forschung im Bereich der Luftfahrt-Systemtechnik. Übergeordnete Zielsetzung ist die Bereitstellung neuer Technologien zur Erhöhung der Flugsicherheit, zuletzt auch zunehmend Themen zur Effizienz und Umweltverträglichkeit des Luftverkehrs. Beispielhaft seien angeführt die Mensch-Maschine-Interaktion im Cockpit, Pilotenassistenzsysteme, die Rollführung auf dem Flugfeld, das Management heterogener Luftverkehrsströme und die Bewertung und Visualisierung von An- und Abflugverfahren hinsichtlich Lärm und Emissionen. Know-How im Bereich der Emissionsanalysen hat das Institut bereits über verschiedene Arbeiten und Projekte gesammelt. Schwerpunkt bei den Emissionsanalysen am FSR liegt auf der Berechnung von Lärmwerten: Einzelereignispegel ( $L_E$ ), Maximalpegel ( $L_{Max}$ ) und Dauerschallpegel [nach ECAC/CEAC Doc. 29]. Mit Hilfe des FSR-eigenen Lärm-Tools kann ein Vergleich zweier Flugpfade direkt abgebildet werden. Dies ermöglicht direkte Aussagen zum Lärm eines neu eingeführten gegenüber einem kommerziellen Verfahren. Viele Projekte werden in enger Kooperation mit der Luftfahrtindustrie durchgeführt.

Das Institut für Flugsysteme und Regelungstechnik hat sich auch in anderen Fördervorhaben mit Emissionsbilanzen von An- und Abflugverfahren sowie der Entwicklung einer Simulationsumgebung zur vergleichenden Bewertung der Lärm-Emissionen verschiedener Flugtrajektorien über Grund wissenschaftlich auseinandergesetzt. Das Institut verfügt über eine Ausstattung mit Lärmmessgeräten der Klasse II, die schon mehrfach in Messkampagnen in der Umgebung des Frankfurter Flughafens Anwendung gefunden haben.

---

### **3.5.1 Rahmendaten**

- Ziel: Nachweis der Reduktion der Lärm- und Schadstoff-Emissionen, Erstellung eines Gutachtens zur Umweltbilanz, Untersuchung der Übertragbarkeit / Skalierbarkeit der Ergebnisse auf unterschiedliche Verkehrsmix und Flughäfen, Untersuchung von Anschlussfähigkeit und zukünftiger Nutzungs-Szenarien
- Laufzeit: Projekt-begleitend
- Partner:
  - Lufthansa Passage Airline
  - Lufthansa Technik AG
  - LEOS
  - Fraport
  - TU Berlin

### **3.5.2 Beschreibung**

Die Durchführung der Lärmmessungen in verschiedenen Kampagnen am Frankfurter Flughafen stellt einen wesentlichen Punkt in den Arbeiten der TU Darmstadt dar. In der theoretischen Vorbereitung des Messkonzepts werden, in enger Abstimmung mit den Partnern LHT, LEOS und Fraport, die Verkehrssituation, die Anzahl der zu verwendenden Geräte und deren exakte Standorte sowie die zeitliche Synchronisation der Messungen festgelegt. In der Messkampagne werden Messungen zum Lärm des Rollens mit konventionellen Antrieben erhoben werden, die zum Einen zur Validierung der Simulation, und zum Anderen zur vergleichenden Bewertung der Ergebnisse des Vorhabens dienen. Die Validität des erarbeiteten Konzepts wird durch Vortests sichergestellt.



---

## 4 Ziel-Anwendungen

---

### 4.1 Airport eMove

Die drei Teilprojekte des Gesamtvorhabens ergänzen sich sowohl hinsichtlich der betrachteten Antriebstechnologien als auch hinsichtlich der Integration der erarbeiteten neuen Schlepp- und Rollkonzepte in die operationellen Abläufe an Flughäfen.

Grundsätzlich wird unterschieden zwischen Rollbewegungen zum Zweck der Flugdurchführung und solchen, die nicht mit der Flugdurchführung im Zusammenhang stehen. Da sowohl eTaxi als auch TaxiBot aus dem Cockpit gesteuert werden, sind diese beiden Technologien ausschließlich im Rahmen der Flugdurchführung einsetzbar. Die zu bewegenden Flugzeuge lassen sich in die Kategorien Kurz-/Mittel- und Langstreckenflugzeuge einteilen. Neben dem Gewicht weisen sie unterschiedliche Verhältnisse von Rollzeit zu Flugzeit auf. Während das Konzept des eTaxi vorrangig für Kurz-/Mittelstrecken-Flugzeuge geeignet ist, bietet TaxiBot das größte Einspar-Potenzial bei Langstrecken-Flugzeugen.

Das Konzept eSchlepper wird in diesem Vorhaben vorrangig für Wartungs- und Positionierungs-Schlepps projiziert.

Im Gegensatz zum bordgestützten System eTaxi sind der TaxiBot und der e-Schlepper bodengestützt. Die Anschaffung der jeweiligen Schlepper würde den Flughafenbetreibern beziehungsweise Abfertigungsunternehmen obliegen, wohingegen die Entscheidung zu eTaxi vom Flugzeughalter zu treffen wäre.

Die beiden Schlepper unterscheiden sich vornehmlich im Einsatz-Zweck: Während der TaxiBot für das zum Flug erforderliche Zurücksetzen aus der Parkposition und das anschließende Rollen zur Startbahn eingesetzt wird, ist der e-Schlepper für flugunabhängige Wartungs-Schlepps vorgesehen.

Die drei betrachteten Antriebstechnologien für das Rollen am Boden sind in ihrem Einsatzbereich komplementär, zielen auf jeweils gut abgrenzbare Anwendungssegmente und decken damit einen Großteil der Bodenbewegungen von Flugzeugen (Schleppspektrum) ab. Durch den angestrebten Elektrifizierungsgrad sind sie insgesamt geeignet, den Bodenlärm und die Schadstoffemissionen von Flugzeugen auf ein Minimum zu reduzieren.

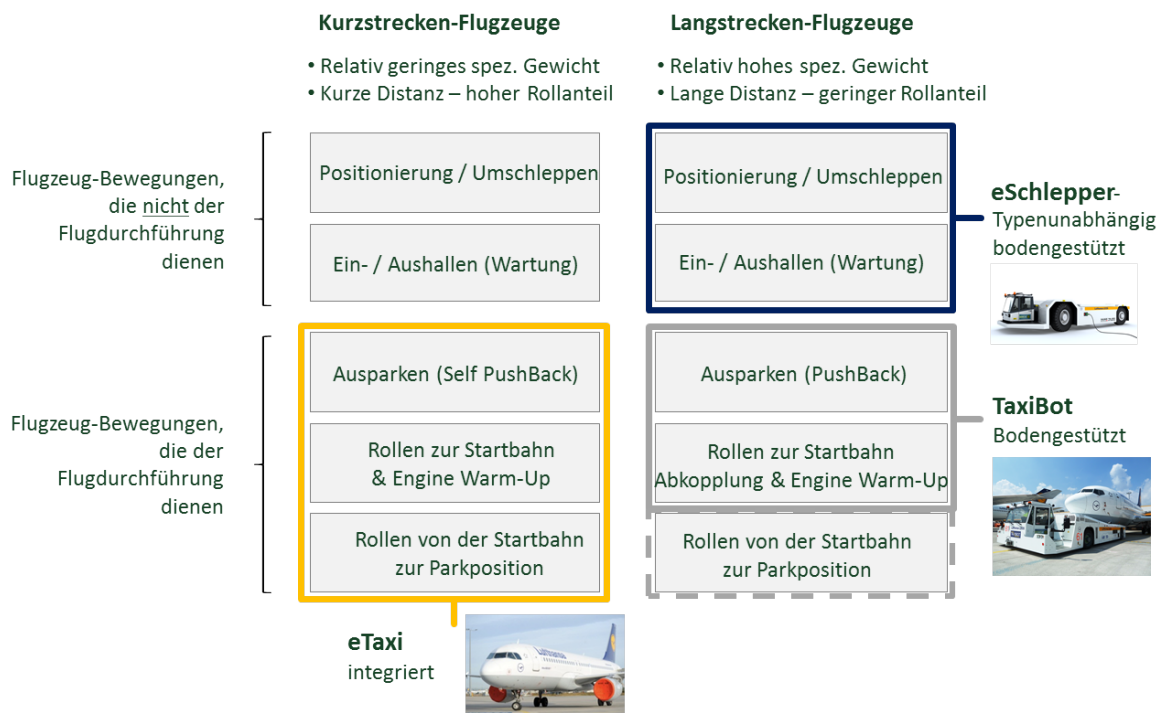


Abb. 10: Zielanwendungen

#### 4.2 eLift

Die Neuentwicklung des eLift ist geeignet, den Standort Deutschland als „Entwickler und Führungskraft“ im Sektor Elektromobilität voranzubringen.

Das Umfeld bietet gute Bedingungen: Die Hubwagen fahren Kurzstrecken, was dem aktuellen Anwendungsprofil von Elektromobilität entgegenkommt. Ladezyklen lassen sich in die Standzeiten bei Be- und Entladung integrieren. Gleichzeitig können Langzeit-Tests für die Umsetzung von Teilerkenntnissen auf andere Schwerlast-Fahrzeuge und auch für den Lkw-Fernverkehr praxisgerecht durchgeführt werden. Technische Risiken sind überschaubar, da bei Ausfällen sofort Reparatur und Ersatz sichergestellt werden kann. Das heißt unter anderem:

- Die infrastrukturellen Voraussetzungen des Flughafens Frankfurt ermöglichen eine realitätsnahe Erprobung des Prototyps und schärfen die Aussagekraft und Qualität der Ergebnisse.

- 
- Eine konsolidierte Bewertung von operativen Szenarien (wie z.B. Verkehrsflüsse und Auslastungen) am Flughafen durch alle am Prozess beteiligten Partner (Fluggesellschaft, Bodenabfertiger, Flughafenbetreiber, Verkehrssteuerung), ermöglicht eine ganzheitliche Begutachtung und erlaubt valide Rückschlüsse zur Übertragbarkeit auf andere Flughäfen.

---

## 5 Fazit

---

Mittelfristig werden die Erkenntnisse aus den Projekten der Lufthansa (eTaxi, eSchlepper, TaxiBot und eLift) für den für den gesamten Schwerlastverkehr interessante Erkenntnisse mit sich bringen. Die Basis für die Nutzung von elektrischen Antrieben wird sich dadurch wesentlich verbreitern.

Für die Flughafenbetreiber, Fahrzeug-Hersteller und Fluggesellschaften bieten diese Zukunftsprojekte Optionen zum Ausgleich bestehender ökologischer Nachteile sowie weitreichende Beachtung durch internationale Übertragbarkeit.

Die technischen Partner profitieren von der Entwicklung und Erweiterung von Kenntnissen zur Fahrzeug-Elektrifizierung unter realen Bedingungen.

Die Forschungseinrichtungen tragen zur Verbreiterung von Grundlagen und Basiswissen bei. Die Aufdeckung neuer Entwicklungs-Perspektiven ist dabei nicht ausgeschlossen

Durch die langjährige Nutzungsdauer der Fahrzeuge besteht die Chance, dass die „Total Life Costs“ im Vergleich zu aktuell genutzten Fahrzeugen trotz höherer Anschaffungskosten geringer sind.

Hierzu tragen bei:

- geringere Betriebskosten
- den Elektrofahrzeugen eigener geringerer Verschleiß
- geringere Wartungskosten aufgrund weniger beweglicher Teile
- Reduktion des Energiebedarfs durch Neukonzeption bestehender Systeme und Einsatz neuer Technologien

---

Über die Nutzung in den Projekten hinaus werden weitergehende Erkenntnisse insbesondere erwartet für

- die Weiterentwicklung von Lade-Infrastruktur
- die Entwicklung und Tests größerer Speicherkapazitäten bei Batterien
- Entwicklung leistungsfähiger Bordnetze
- Weiterentwicklung von Energie-Rückgewinnung (Rekuperation)
- alternative Antriebe für Nutzfahrzeuge
- Entwicklung von Wartungs- und Instandhaltungskonzepten für elektrisch angetriebene Nutzfahrzeuge im Bereich der Luftfahrt und darüber hinaus
- den Aufbau wissenschaftlicher Erfahrungen im Bereich Emissions- und Prozessbewertung über den Bereich der Luftfahrt hinaus
- weiterführende Forschungs- und Entwicklungs-Vorhaben

Das wirtschaftliche Potenzial eröffnet weltweite Absatzmärkte für die projektierten Innovationen.

Im Gegensatz zu Verbrennungs-Motoren sind die Bedingungen für Elektro-Antriebe auf dem Flughafen-Vorfeld generell günstiger. Lufthansa leistet durch die Projekte ihren Beitrag für die Lösungssuche für die bekannten Schwächen des Elektro-Antriebs und erarbeitet Integrations-Szenarien und -Möglichkeiten für den praktischen Einsatz.

---

## 6 Quellen

---

- Baumgarten, Gerhard; Doll, Michael, Dipl.-Ing.; Meinert, Heike, Dr.-Ing.; Mutz, Christian; Weiß, Bernhard, Dipl.-Ing.; Ziemer-Graves, Jutta, MBA (Concordia University): Projektbeschreibung Airport eMove
- Reuter, Andreas; Schmäzle, Frieder; Stein, André, Wdaah, Lamyaa, M.Sc.: Projektbeschreibung eLift

