



Quelle: Boeing

Zukunftsperspektiven der Luftfahrt

Univ. Prof. Dr.-Ing. Volker Gollnick

VHS Zürich, Universität Zürich, 14. Februar 2024

Übersicht

Das Institut für Lufttransportsysteme

Große Trends

Nachhaltigkeit und Klimawirkung

Klimawirkung der Luftfahrt mindern

Ein Weg zum Elektrischen Fliegen – Lufttaxis und Drohnen

Ein Resümee

„**Sicherheit, Klimawandel** und **Bewahrung des Wohlstands** sind besondere Herausforderungen, denen sich unsere Gesellschaft gegenüber sieht.“

Das Institut für Lufttransportsysteme forscht und lehrt zu wissenschaftlichen **Methoden und Erkenntnissen**, diesen fordernden Aufgaben zu begegnen. Aus einem **gesamtsystemischen** Ansatz heraus befassen wir uns mit zentralen luftfahrtspezifischen Herausforderungen und Aufgaben der Gesellschaft:

Strategisch, politische
Entwicklungen der Luftfahrt

Effizienter und nachhaltig
klimaschonender Luftverkehr

Luftfahrtanwendungen
in Sondermissionen

Institutsleitung



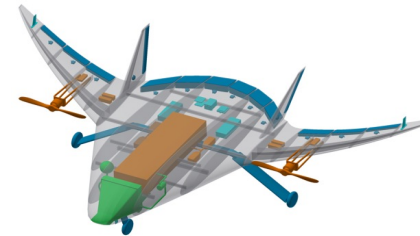
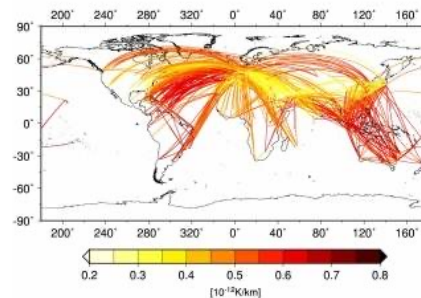
Univ. Prof. Dr.-Ing.
 Volker Gollnick
 AIAA Associate Fellow

Das ILT forscht und lehrt zu wissenschaftlichen Methoden und Erkenntnissen, um diese Vision gesamtsystemisch umzusetzen.



Zwischenfazit:

- Das Institut forscht und lehrt zu luftfahrttechnischen Anwendungen zum **Erhalt von Sicherheit, Umwelt und Wohlstand**
- Wir arbeiten als **Systemarchitekten** in technischen Lösungen **im Gesamtsystemkontext**
- Wir **gestalten, modellieren, entwerfen und bewerten**
- Unsere **Forschung** ist meistens **Dual-Use**
- Wir bilden **Gesamtsystemarchitekten und -entwerfer** aus



Lufttransportsysteme – Das GANZE denken!

Übersicht

Das Institut für Lufttransportsysteme

Große Trends in der Luftfahrt

Nachhaltigkeit und Klimawirkung

Klimawirkung der Luftfahrt mindern

Ein Weg zum Elektrischen Fliegen – Lufttaxis und Drohnen

Ein Resümee

Zero Emissions

(30.11.2022) Airbus: **Bis 2035 bringt Airbus ein Brennstoffzellen getriebenes Flugzeug mit Wasserstoffantrieb** auf den Markt (<https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2022-11-airbus-reveals-hydrogen-powered-zero-emission-engine>)

ZEROe Concept Aircraft



Turbofan

Range: 2,000+ nm | Passengers: <200

Two hybrid-hydrogen turbofan engines provide thrust. The liquid hydrogen storage and distribution system is located behind the rear pressure bulkhead.



Turboprop

Range: 1,000+ nm | Passengers: <100

Two hybrid-hydrogen turboprop engines, which drive eight-bladed propellers, provide thrust. The liquid hydrogen storage and distribution system is located behind the rear pressure bulkhead.



Blended-Wing Body (BWB)

Range: 2,000+ nm | Passengers: <200

The Blended-Wing Body's exceptionally wide interior opens up multiple options for hydrogen storage and distribution. Here, the liquid hydrogen storage tanks are located underneath the wings. Two hybrid-hydrogen turbofan engines provide thrust.



Fully electrical concept

Range: 1,000 nm | Passengers: <100

The fully electrical concept was revealed in December 2020. It is based on a fully electrical propulsion system powered by fuel cells.

ABER: ...

Quelle: Airbus.com

Zero Emissions

Aviation Week – Space Technology, Dezember 25 – January 14, 2024:



Das Flugzeug der Zukunft:



Die nächste Generation:
A320 NEO **NEO - 2035**

Die nächsten Jahre
nix Neues!

➔ ... Die Sicherung von **Arbeitsplätzen** ist wichtiger als Minderung der **Klimawirkung**

Quelle: Airbus.com

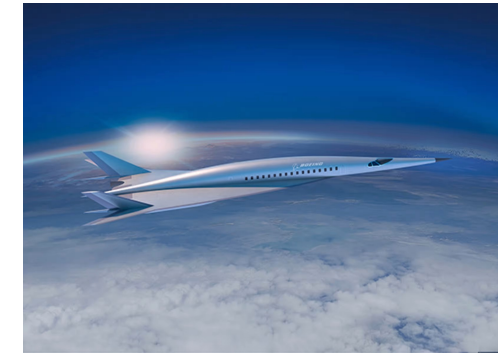
Es geht auch super schnell ...

Studien zu Über- und Hyperschallflugzeugen



| MACH 1.7 Reisegeschwindigkeit | 2X schneller über Wasser | 20% schneller über Land |
|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 600+ Profitable Strecken | 100% SAF | 60m Gesamtlänge |
| 60000 ft Reiseflughöhe | 7867 km Reichweite | 64-80 Passagiere |

Quelle: boomsupersonic.com



| MACH 5 | Kurvenradius 900km | |
|------------------------|--------------------|--------------------|
| Reichweite ca. 15000km | 32 Passagiere | Flughöhe ca 45000m |

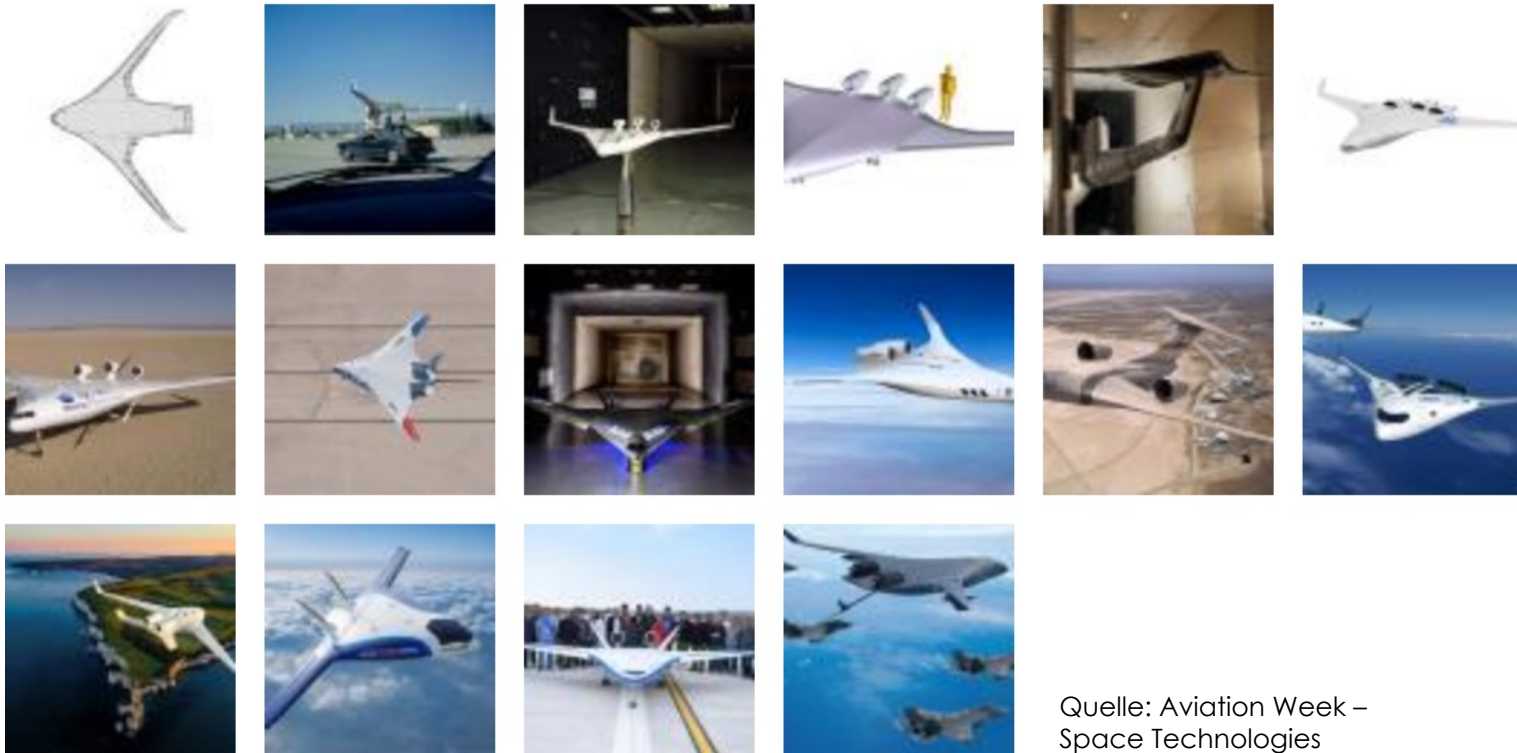
Quelle: newatlas.com/boeing-teases-hypersonic-passenger-jet



Lockheed/NASA X-59 QueSST – Supersonic Boom Demonstrator

Neue Flugzeugkonfigurationen

... eine längere Geschichte



Quelle: Aviation Week –
Space Technologies



Blended Wing Body Flugzeuge werden die neue
andere Flugzeugkonfiguration der Zukunft

August 2023



<https://www.flugrevue.de/militaer/demonstrator-fuer-die-us-air-force-blended-wing-body-von-jetzero/>

Ziel des Projekts ist es, die BWB-Technologie zur Reife zu bringen und ihre Fähigkeiten zu demonstrieren, um dem Ministerium mehr Optionen für künftige Transporter und Tanker zu bieten.

"Blended Wing Bodies haben das Potenzial, den Treibstoffbedarf erheblich zu senken und die globale Reichweite zu erhöhen", sagte Secretary of the Air Force Frank Kendall. "Die schnelle und effiziente Beförderung von Streitkräften und Fracht über große Entfernungen ist eine entscheidende Fähigkeit..." im Indo-Pazifik, speziell in einem möglichen Konflikt mit China. Quelle: FlugRevue

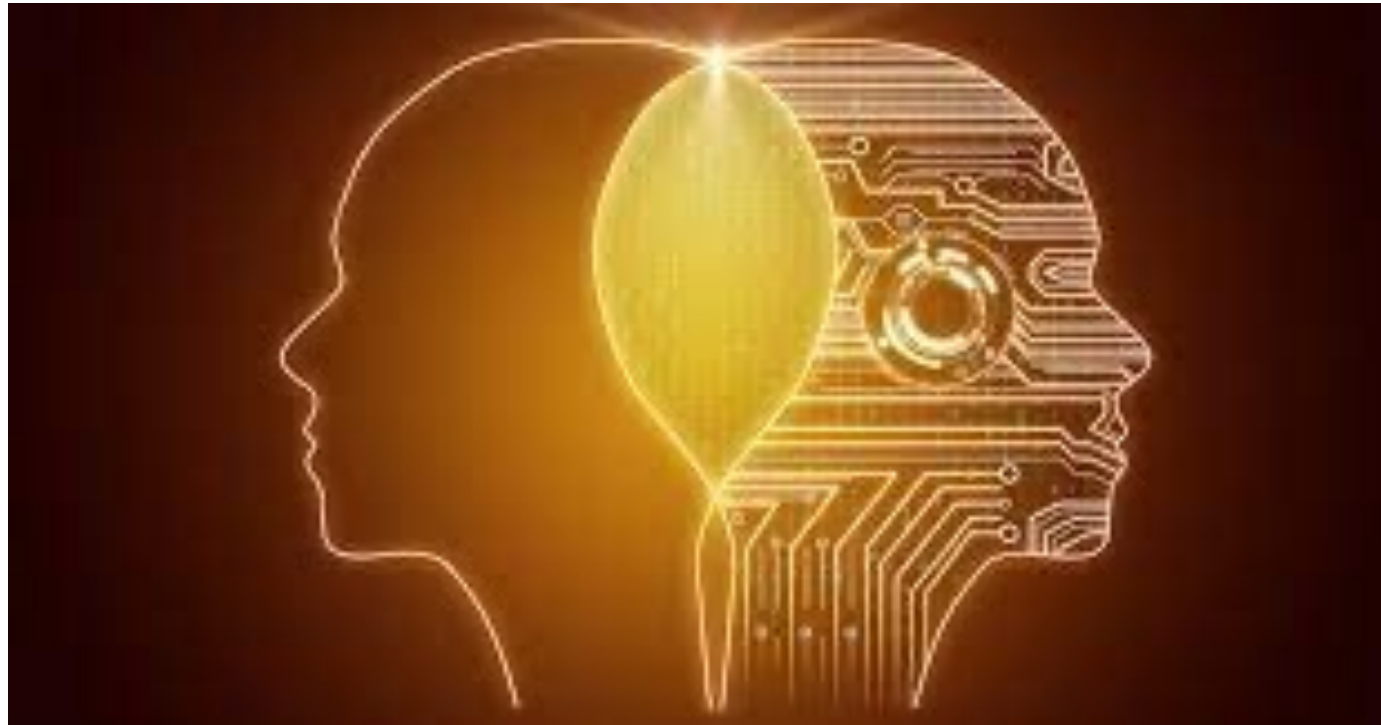
Drohnen und Lufttaxis



Automation und Kommunikation schaffen neue Fluggeräte

Künstliche Intelligenz

Sehr schnelle Algorithmen auf schnellen Prozessoren betreiben Datenmustererkennung in großen Datenmengen



Schwache KI ist kein Hexenwerk, sondern nur schnell und strukturiert arbeitende Algorithmen

Quelle: MPG

Luftkrieg 2050



Vernetzen - (Des)information – Stören – keine Grenzen mehr Zivil/Militär

Quelle: Airbus.com

Zwischenfazit

- **Klassische Luftfahrttechnologien** tragen nur noch **geringfügig** zur Zukunft der Luftfahrt bei
- **Neue Flugzeugkonzepte** eher im Bereich der Forschung?
- **Informationstechnologien und KI forcieren** die Fortentwicklung
- Nicht mehr das Fluggerät als solches, sondern die darauf und darin befindlichen **Funktionen machen den Wert künftiger Flugsysteme** aus
- Neue Flugsysteme wie **Drohnen und Lufttaxis** suchen ihren Weg in der Zukunft
- **Luftkrieg der Zukunft** wird vor allem durch (Des)Informationskrieg und Vernetzung gekennzeichnet und weniger durch klassische Waffen; Aber: Der Ukrainekrieg zeigt, daß Mengen an Waffensystemen trotz aller Hochtechnologie entscheidend bleiben

Übersicht

Das Institut für Lufttransportsysteme

Große Trends

Nachhaltigkeit und Klimawirkung

Klimawirkung der Luftfahrt mindern

Der Weg zum Elektrischen Fliegen – Lufttaxis und Drohnen

Ein Resümee

Nachhaltigkeit

Nachhaltigkeit, "Prinzip, nach dem nicht mehr verbraucht werden darf, als jeweils nachwachsen, sich regenerieren, künftig wieder bereitgestellt werden kann."

Nachhalten = verfolgen, überprüfen

(da)nach halten = weiterbestehen, weiter nutzbar sein

Zusätzlich bestehen eine

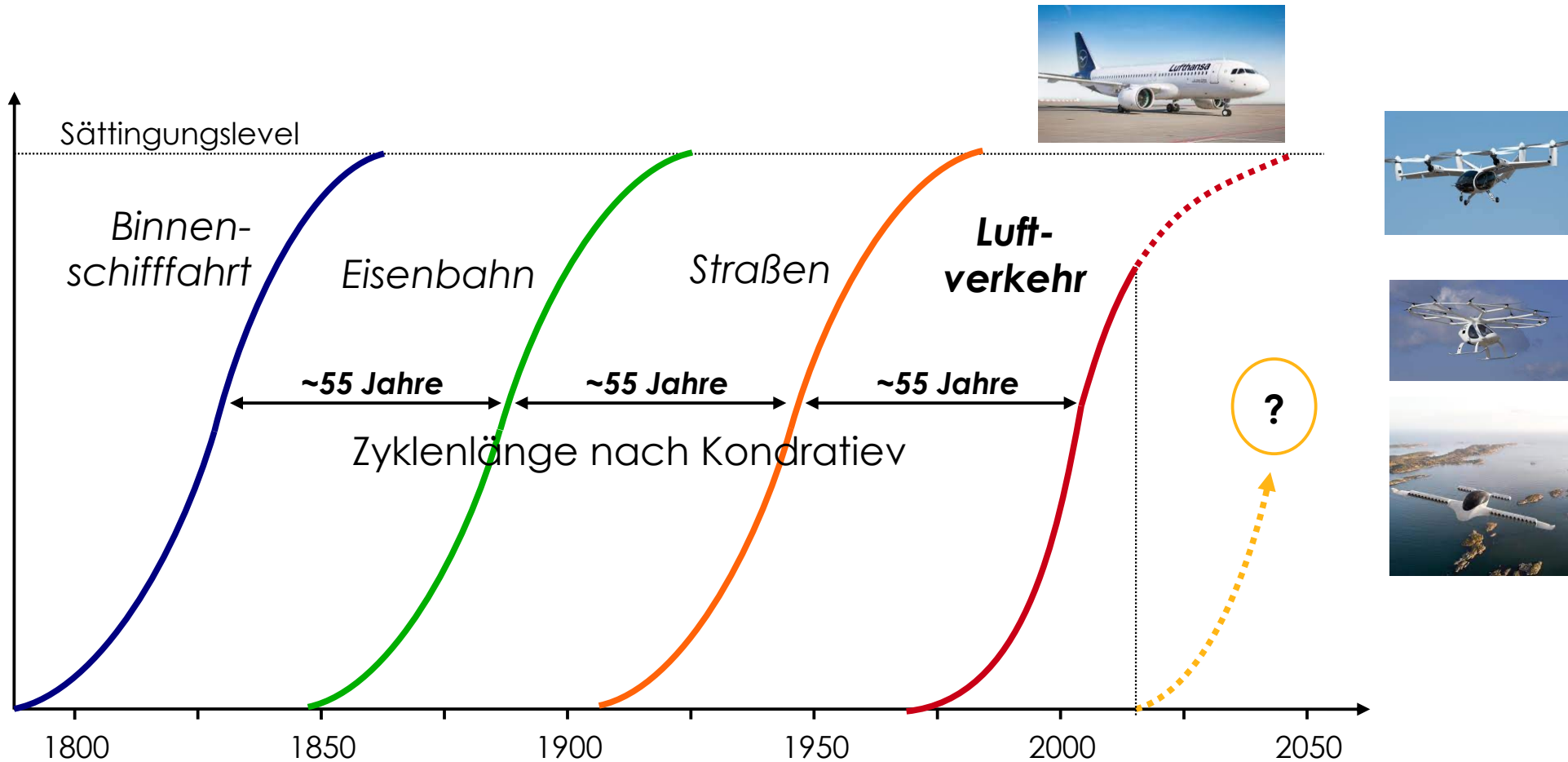
Vielzahl Interessen getriebener und spezifischer Subdefinitionen

Das Ergebnis einer Nachhaltigkeitsbetrachtung aus Ingenieurssicht ist auch eine Frage

- Der **Systemebene**: Lufttransport vs. (Kurzstrecken)-Verkehrsflugzeug vs. Lufttaxi
- Der **Zeit**: Was ist der Betrachtungshorizont?
- Der **Nutzbarkeit einer Ressource**: Kann ich die Ressource mehrfach ggf. in unterschiedlichem Zustand nutzen (Material, Energie)?

Lufttransport an sich ist nachhaltig (dauerhaft); seine Ausprägung kann sich verändern

Die Substitutionszyklen im Transportwesen



siehe v.a.: Marchetti, Cesare: „The Kondratiev Cycle: Predicting for the Next 25 years“; in Jubilee Exhibitions & Proceedings of Symposium "R+D for the 21st Century: „An Analysis of Trends Affecting Strategies for Industrial Innovation“, The Research and Development Society, London, UK, 1987. (<http://www.cesaremarchetti.org/archive/scan/MARCHETTI-040.pdf>)

Nachhaltigkeit heißt also

- Eine **Ressource** (Stoff oder Energie) **möglichst lange** zu nutzen oder
- Je eingesetzter Ressourcenmenge **möglichst viel** (Transport)**leistung zu erzeugen**

Nachhaltigkeit und Klimawirkung

Klimawirkung des Fliegens ist zu unterscheiden in

- **Kurzzeitig** → z.B. **Kondensstreifen** entstehen und vergehen kurzzeitig (wenige Tage und Wochen)

- **Langzeitig** → **Kohlendioxid** kumuliert seine Wirkung über 50 bis 100 Jahre!

- In der **Höhe** → **Stickoxide** wirken Ozon abbauend

- In **Bodennähe** → **Stickoxide** wirken Ozon aufbauend

Zwischenfazit - Die Gleichung für die Zukunft

Nachhaltigkeit durch möglichst
langen und effizienten
Ressourceneinsatz

Sowie

Minimale Emissionswirkung in
allen Betriebs- und
Lebensphasen



Wirtschaftliches (quantitatives)
Wachstum für

Erhalt von **Arbeitsplätzen**

Pekuniärer **Gewinn**

Wirtschaftliche **Bedeutung**

Übersicht

Das Institut für Lufttransportsysteme

Große Trends

Nachhaltigkeit und Klimawirkung

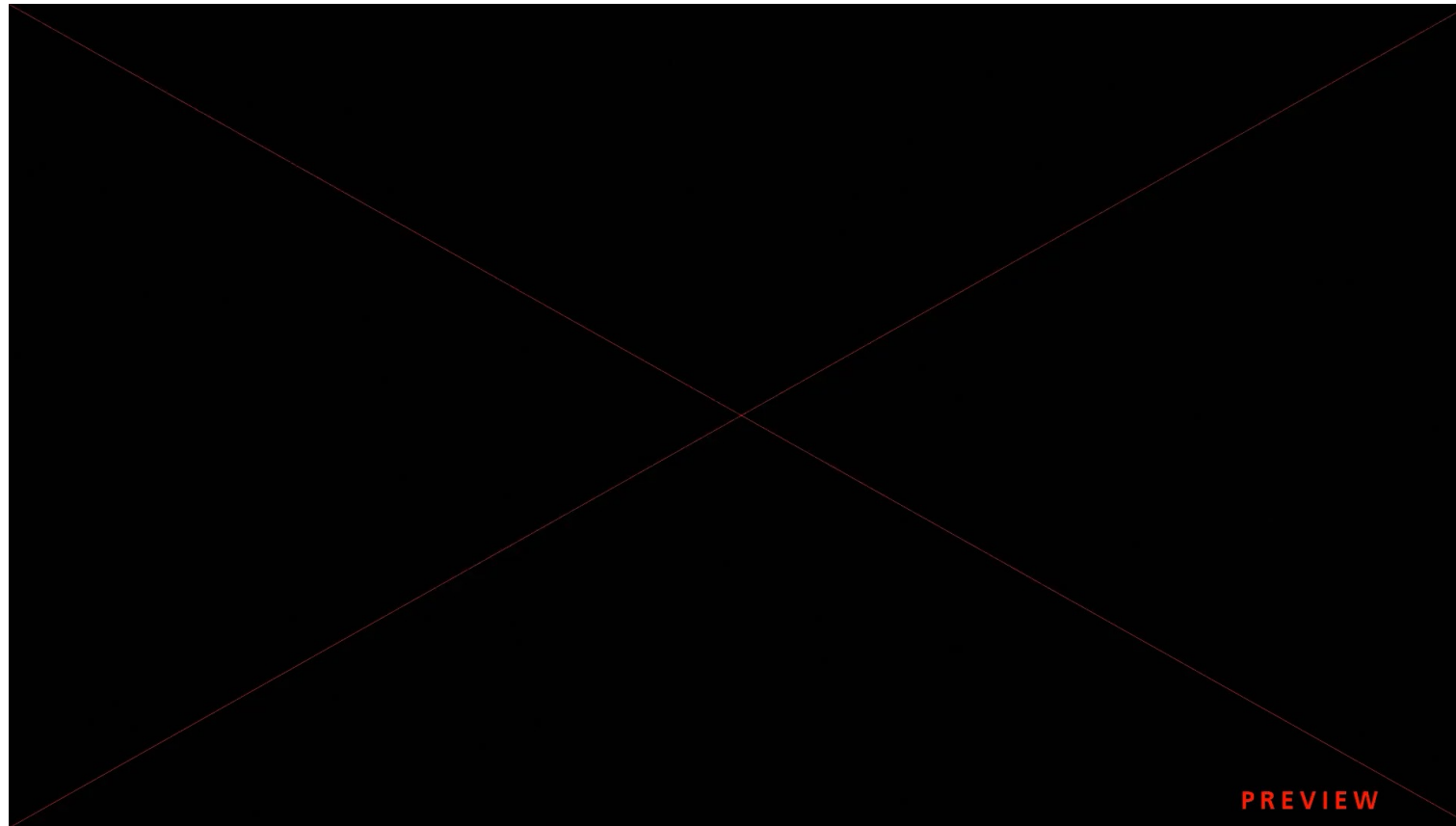
Klimawirkung der Luftfahrt mindern

Ein Weg zum Elektrischen Fliegen – Lufttaxis und Drohnen

Künstliche Intelligenz – Fluch und Segen

Kapazität anders balancieren

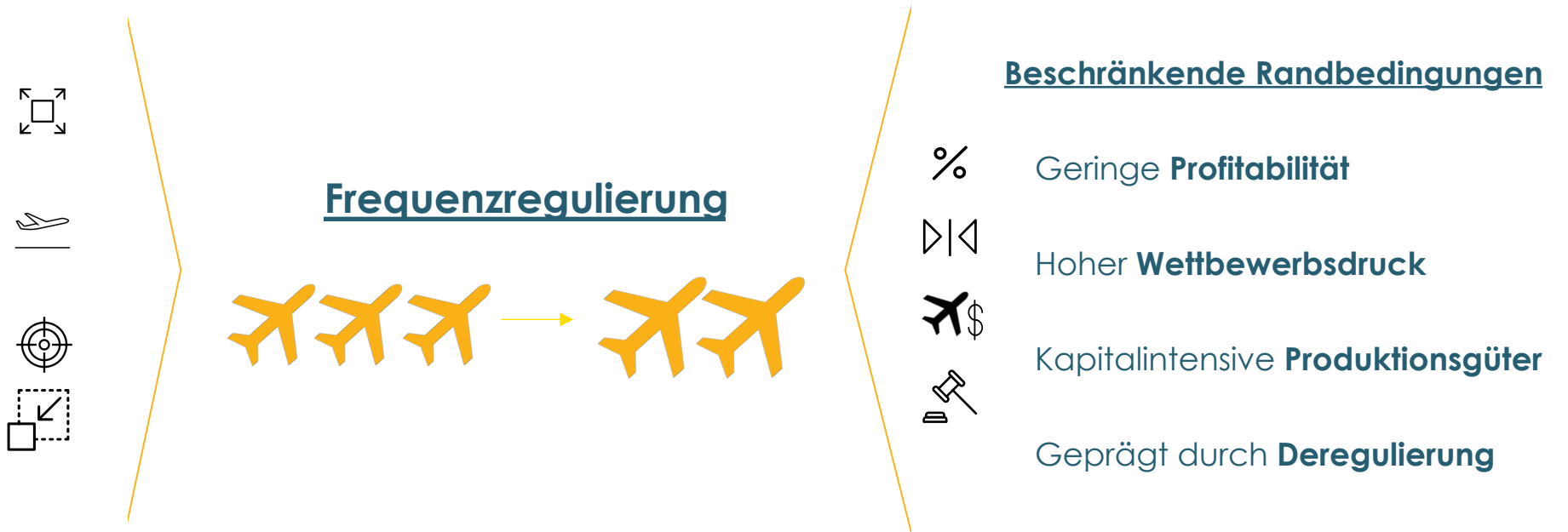
Der Luftraum ist voll



Quelle: DLR/TUHH

Kapazität anders balancieren

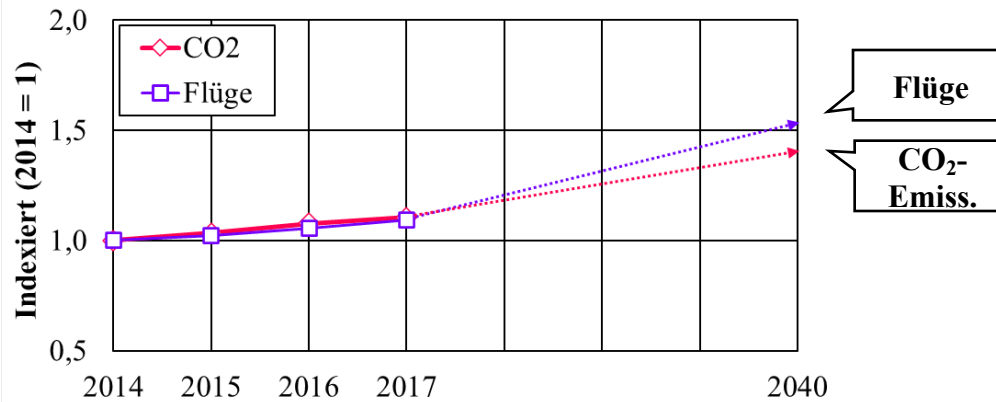
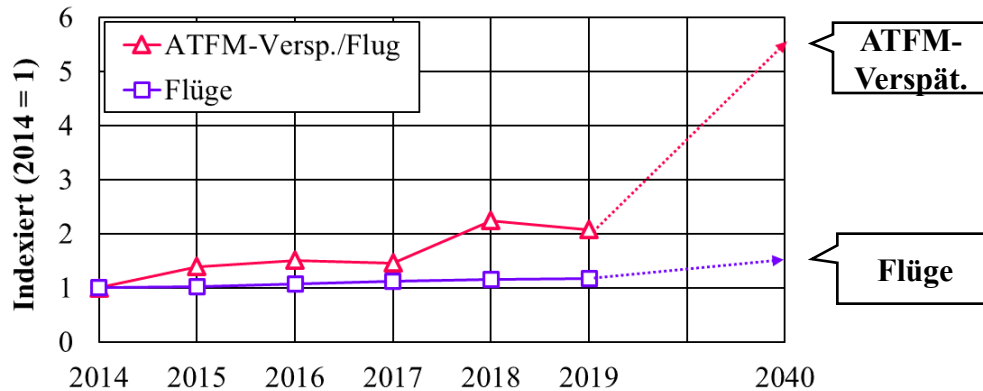
Flugfrequenzen runter – Fluggrößen rauf



Welchen Effekt haben **größere aber weniger Flugzeuge** auf Verspätungen im Luftverkehr und CO₂ Emissionen?

Kapazität anders balancieren

Flugfrequenzen runter – Flugzeuggrößen rauf



Vorhersage für den EU/EUROCONTROL-Raum (Airbus 2020;
EEA 2020; EUROCONTROL 2018; IATA 2020)

Im Verhältnis zum Flugwachstum...:

- ...nehmen **ATFM-Verspätungen überproportional** zu durch Sättigungseffekt im Lufttransportsystem.
- ...nehmen **CO₂-Emissionen unterproportional** zu (Einführung von neuer Technologie, operationelle Maßnahmen)

Frequenzreduzierung führt dazu, dass...:

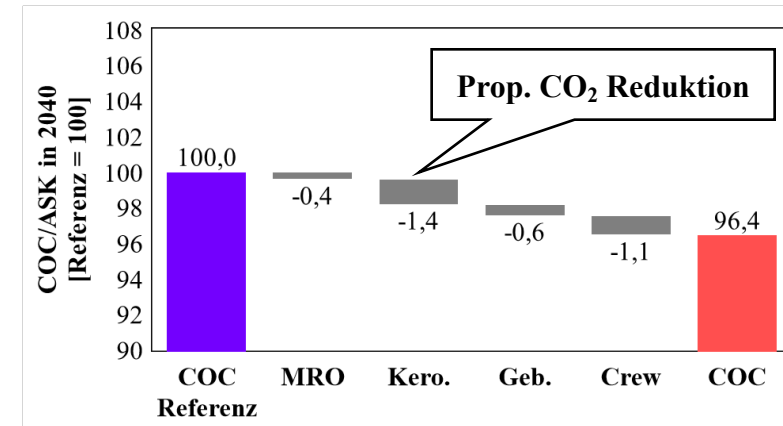
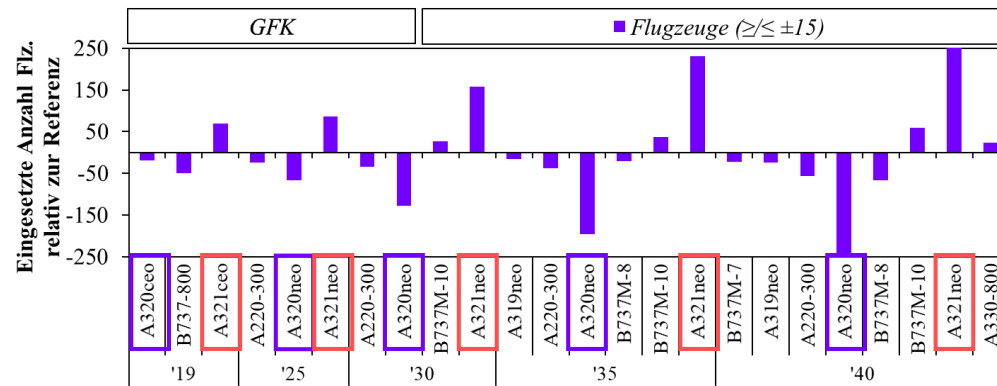
- ...**ATFM-Verspätungen*** durch eine geringere Anzahl Flüge **reduziert werden**
- ...**CO₂-Emissionen** und **Kosten** durch den Einsatz größerer Flugzeuge mit teils geringeren Sitzplatzemissionen **abnehmen**

*ATFM-Verspätung: Kapazitätsinduzierte (Flughafen, Luftraum) Verspätung eines Flugs

Quelle: TUHH

Kapazität anders balancieren

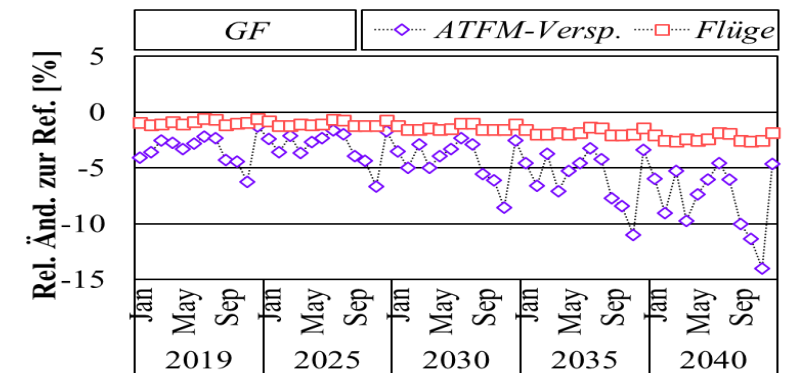
Flugfrequenzen runter – Fluggrößen rauf



Größere Flugzeuge transportieren mehr Passagiere je produziertem Schadstoff

Weniger Flugzeuge erzeugen weniger Verspätungen und damit weniger Schadstoffe

➔ **Je kg eingesetztem Kraftstoff erziele ich mehr Transportarbeit und hole mehr aus der Ressource raus**



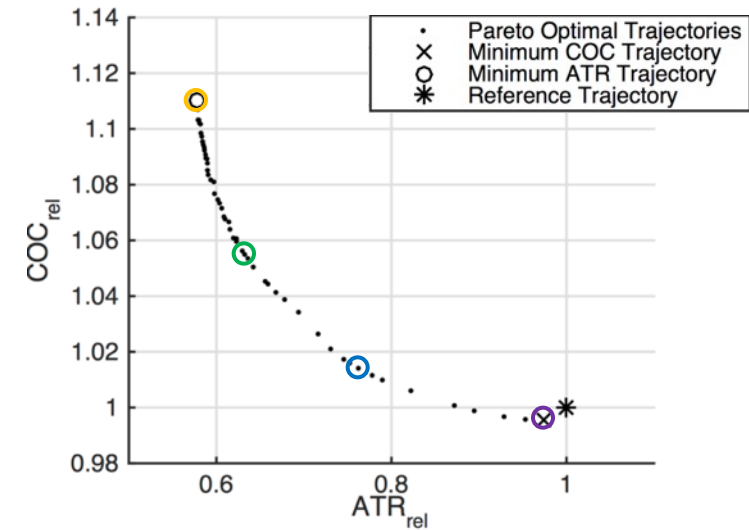
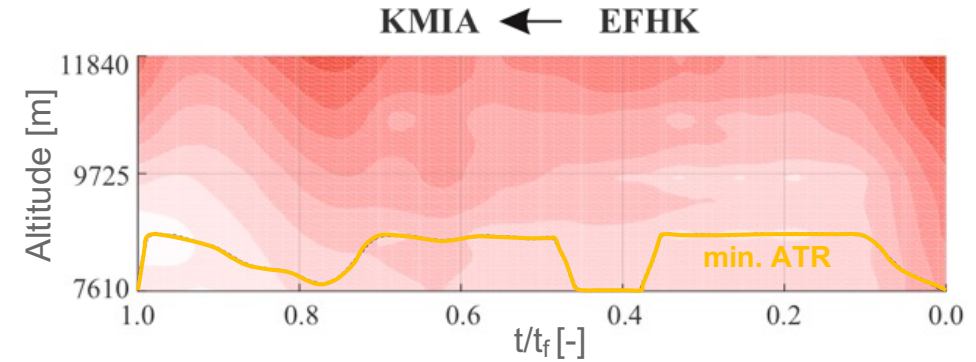
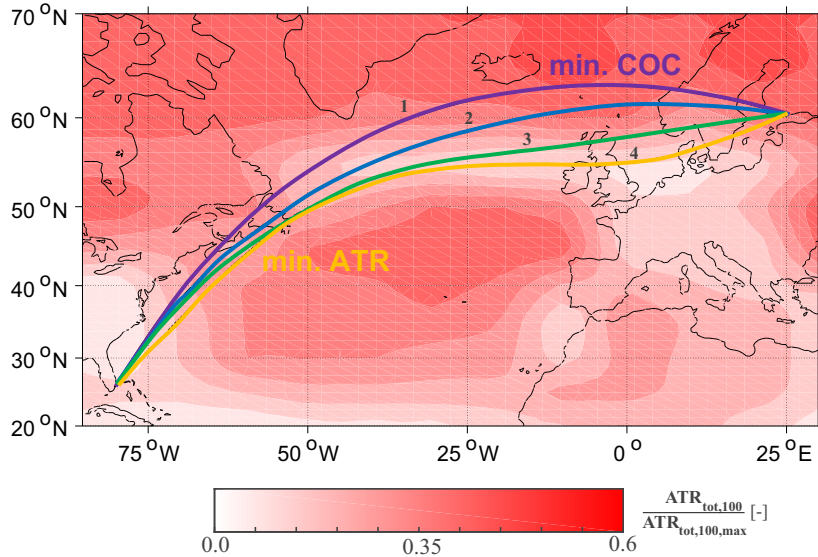
Erkenntnisse

- **ATFM-Verspätungen nehmen** relativ zur Reduzierung der Fluganzahl **überproportional ab**

Quelle: TUHH

Neue Betriebsform – Anpassung der Flugbahn an die Atmosphärenkonstellation

Climate Cost Function @ 9,635 m



| COC [-] | ATR [-] | C_{ψ} [-] | Mean alt. [-] | Fuel [-] | Time [-] |
|---------|---------|----------------|---------------|----------|----------|
| 0.995 | 0.975 | 0.000 | 11,054 | 0.988 | 1.002 |
| 1.014 | 0.762 | 0.042 | 10,030 | 1.025 | 1.003 |
| 1.055 | 0.632 | 0.122 | 9,203 | 1.096 | 1.023 |
| 1.111 | 0.578 | 1.000 | 8,319 | 1.193 | 1.048 |

min. COC

min. ATR

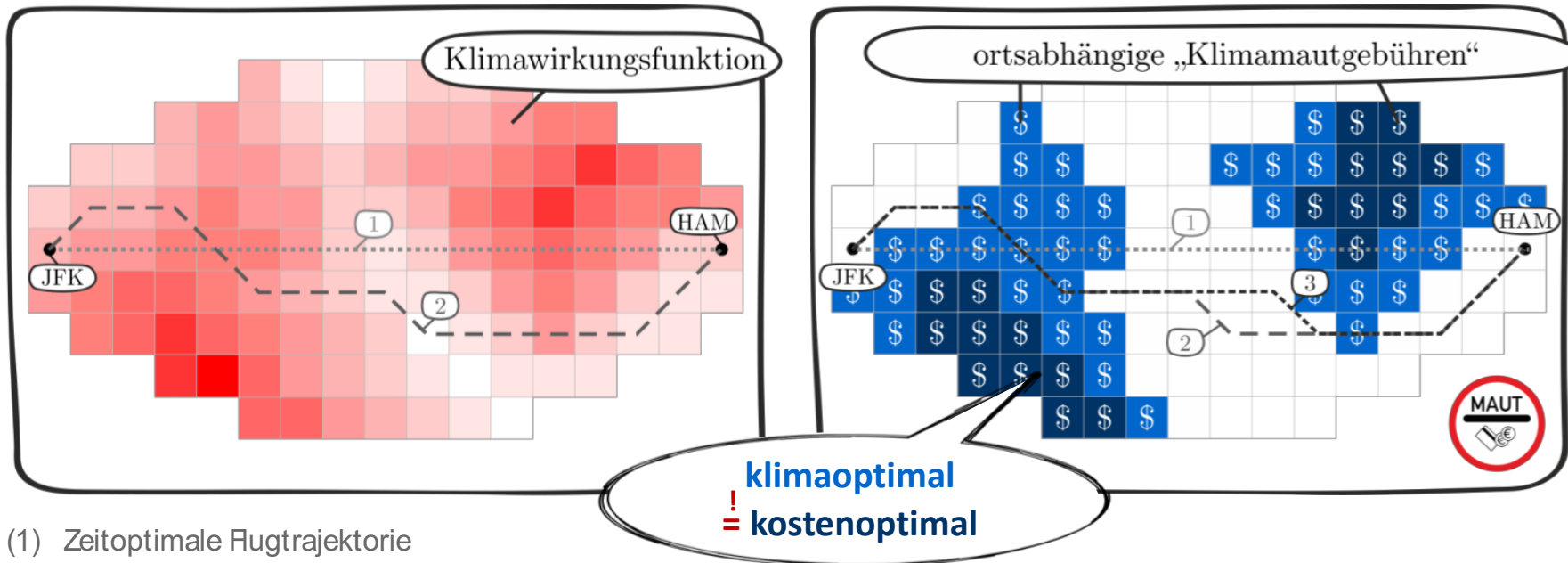
➔ **Angepaßte Trajektorien reduzieren die Klimawirkung!**

Neue Betriebsform – Klima-Mautkonzept

Die Airline hat die Wahl: Klimawirkung oder Kosten

Fokus auf besonders klimasensitive Regionen

Erzeuge einen **finanziellen Anreiz** zur Mitigation



- (1) Zeitoptimale Flugtrajektorie
- (2) Klimaoptimale Flugtrajektorie
- (3) Kostenoptimale Flugtrajektorie

➔ **Anreizkonzept zur kurzfristigen Klimawirkungsreduktion des Luftverkehrs**

Neue Betriebsform - Ziviler Formationsflug

Airbus' commercial Airbus is now using it to develop a cleaner carbon footprint. In 2020, Airbus will follow as closely as 1.5 NM behind a customer airline A350-900 flight. It will use a test A350-1000 on a transatlantic route, testing whether formation flying is more fuel-efficient and reliable.

(Flight International November 2019);

<https://airtrafficmanagement.keypublishing.com/2019/10/29/exclusive-airbus-planning-formation-flying-on-transatlantic-passenger-flights/>

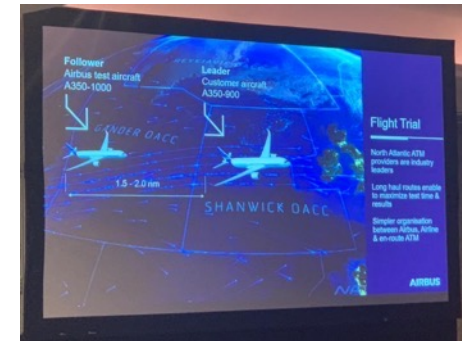


Boeing/FedEx 777 Test Confirms Wake Fuel-Burn Benefit

(Aviation Week, December 13, 2019)

The EcoDemonstrator maintained a 4,000-ft. separation from the lead aircraft, far enough to avoid turbulence but close enough to gain significant wake-surfing benefit.

Formation flight tests conducted with FedEx Express using two 777Fs confirm the potential for **reducing fuel consumption by up to 10%** by flying in the wingtip vortex of the lead aircraft, says the aircraft maker. The test, details of which have been disclosed for the first time, was conducted during Boeing's 2018 ecoDemonstrator program using an aircraft leased from the cargo carrier.



Ziviler Formationsflug gewinnt zunehmend an Bedeutung!

Neue Betriebsform - Ziviler Formationsflug

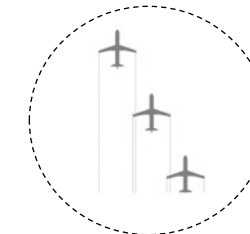
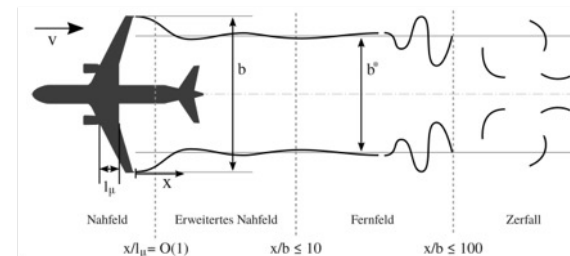
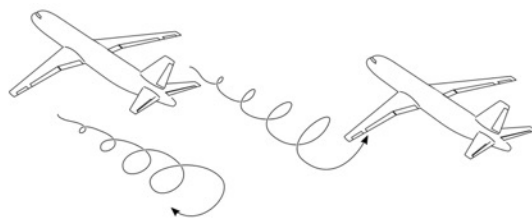
Aerodynamische Vorteile beim Follower

- Treibstoffeinsparung
- Höhere Reichweiten
- Längere Flugzeiten
- Mehr Nutzlast

Gruppierung von Flugzeugen

- Erhöhung der Luftraumkapazität
- Verringerung des Kontrollaufwandes

Der Trick:



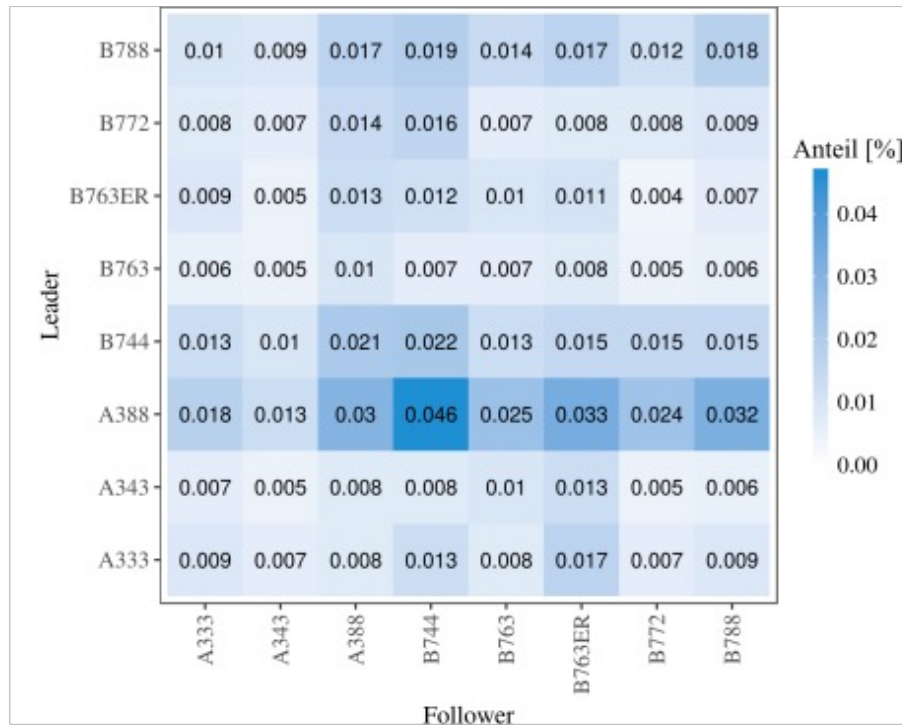
Formation



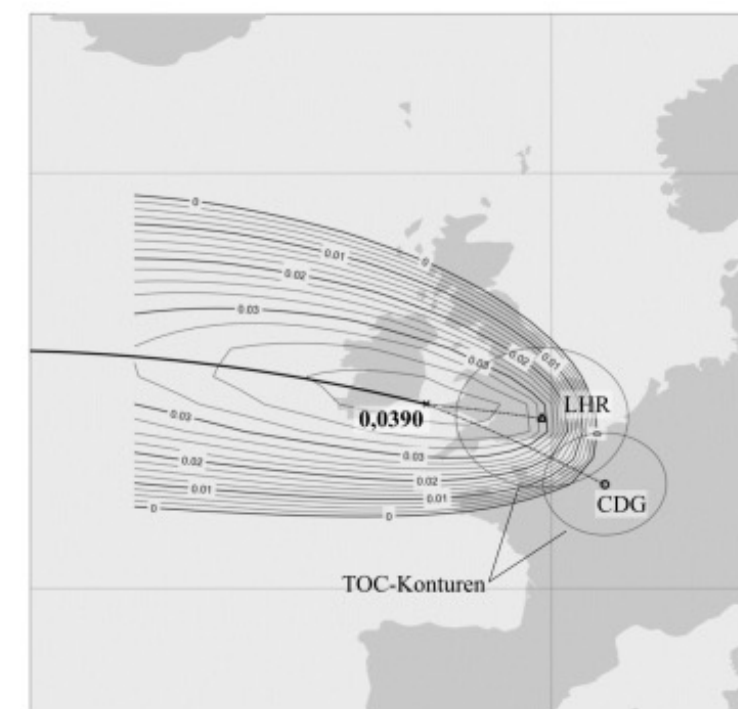
Energie aus dem aerodynamischen Wirbel nutzen

Neue Betriebsform - Ziviler Formationsflug

Kraftstoffersparnis abhängig von Formation und Rendezvouspunkt



Kraftstoffeinsparung von Formationen



Lage der Rendezvouspunkte relativ zur Kraftstoffersparnis



1,5 – 4,6% Kraftstoffersparnis unter Realbedingungen möglich

Zwischenfazit

- **Operationelle Maßnahmen** zur Klimaminderung können **sofort** implementiert werden
 - **Frequenzreduktion** bewirkt sowohl Verspätungs- als auch Emissionsreduktion
 - **Größere Flugzeuge** nutzen Energie und „Schadstoffe“ effizienter
 - **Klima-Mautkonzept** gibt den Airlines die Option Zahlen oder Vermeiden
 - **Formationsflug** ist gar nicht so weit weg von der Wirklichkeit

Übersicht

Das Institut für Lufttransportsysteme

Große Trends

Nachhaltigkeit und Klimawirkung

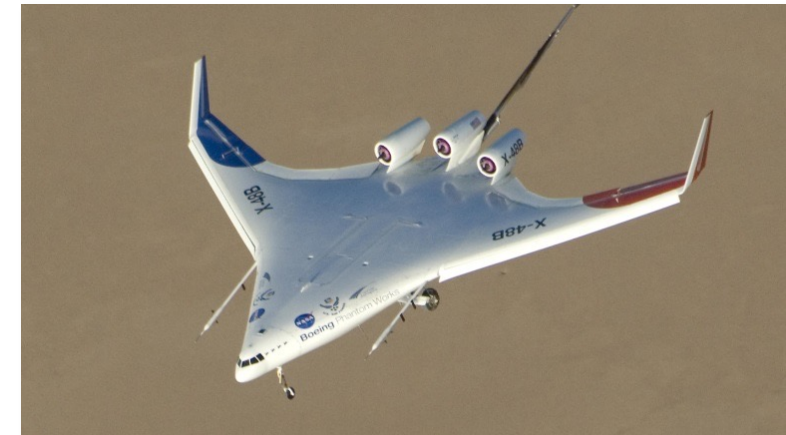
Klimawirkung der Luftfahrt mindern

Ein Weg zum Elektrischen Fliegen – Lufttaxis und Drohnen

Ein Resümee´

Definition Unbemannter Flugsysteme

- Ein angetriebenes Luftfahrzeug, das keinen menschlichen Bediener trägt,
 - kann **voll automatisiert** oder **ferngesteuert** betrieben werden,
 - kann **einmalig** oder **mehrmals benutzbar** sein
 - und kann verschiedenste **Nutzlasten (Sensoren, Fracht, Waffen)** tragen
- Ballistische oder halbballistische Luftfahrzeuge, Marschflugkörper, Artilleriegeschosse, Torpedos, Minen, Satelliten gelten nicht als unbemannte Luftfahrzeuge
- UAVs sind die Hauptkomponente unbemannter Systeme



Motivation für Unbemannte Flugsysteme

- Erhöhte System-Gesamteffektivität
- **Kostenreduktion** (Zelle, Support; Betrieb in Friedenszeiten)
- Da es **keine Besatzung** an Bord von UAS gibt, können diese Systeme für **Missionstypen** eingesetzt werden, **die für Piloten inakzeptabel oder weniger effektiv** wären
 - Stumpfsinnig (**dull**): Missionen mit geringer Arbeitsbelastung
 - Schmutzig (**dirty**): Flug durch kontaminierte Luft, die für den Menschen schädlich wäre
 - Gefährlich (**dangerous**): Missionen, die lebensgefährlich sind
- Es gibt keine Besatzung an Bord der UAV und daher führt der Verlust des Luftfahrzeugs nicht zum Verlust der Flugbesatzung
 - Besonders wichtig für militärische Anwendungen



MediFLy Hamburg



Cargo Drone – Roland Berger

Mögliche zivile Einsatzgebiete von Unbemannten Flugsystemen



Infrastrukturbeobachtung
und -Inspektion



Transport von Lasten
und Sensoren



Versicherungen



Medien und
Entertainment



Telekommunikation



Landwirtschaft



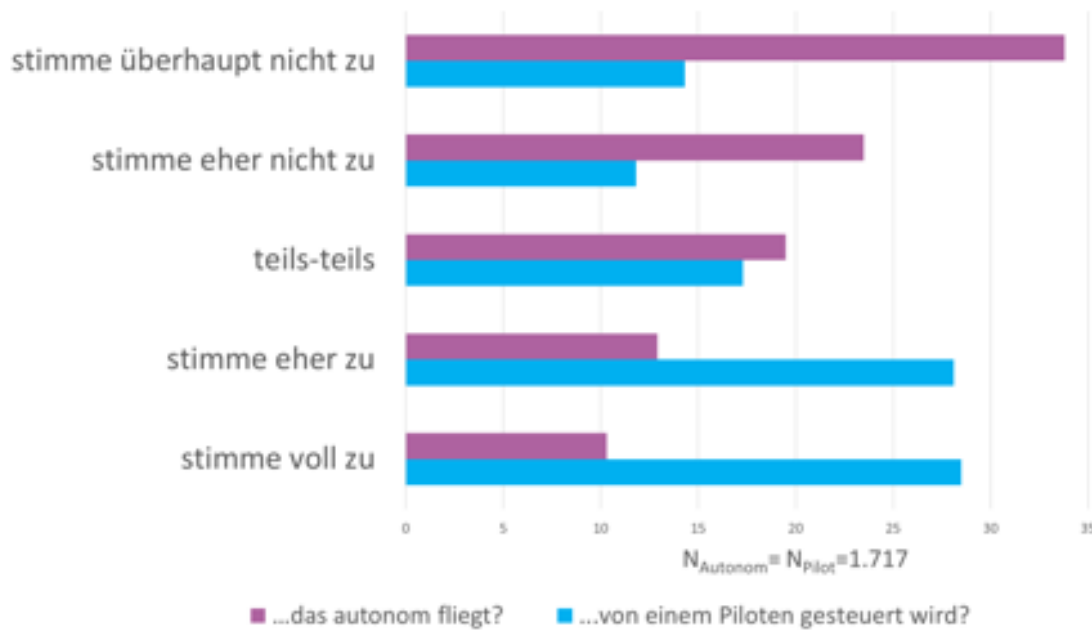
Sicherheit



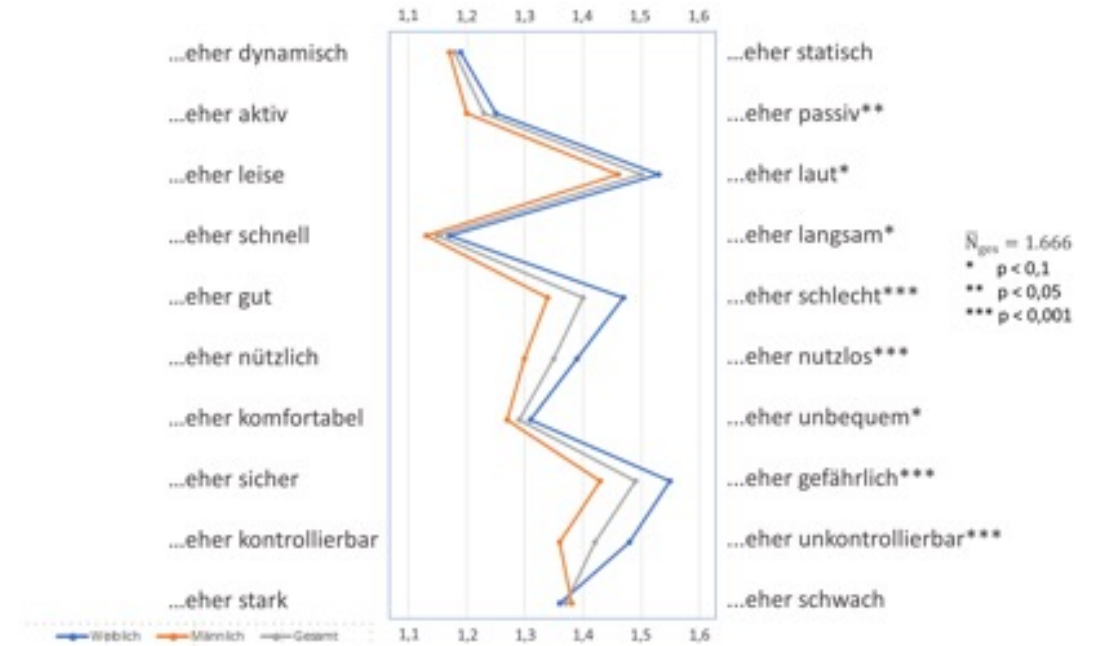
Bergbau

„Lufttaxis“ (bzw. „eVTOLs“) sind längst nicht so bekannt wie Drohnen

Können Sie sich vorstellen, ein Lufttaxi zu nutzen, das...



Lufttaxis sind...:



UAM führt zu keiner expliziten Entlastung, sondern ist Zusatzangebot

Quelle: HSU

Eine neue Perspektive Drohnen und Lufttaxis

Lufttaxis – Fluggeräte für den Transport von Personen im intra- und interurbanen Raum



Verbindungs-
/Shuttletransport



Interurbaner
Kurzstreckentransport



????



Intraurbaner
Kurzstreckentransport



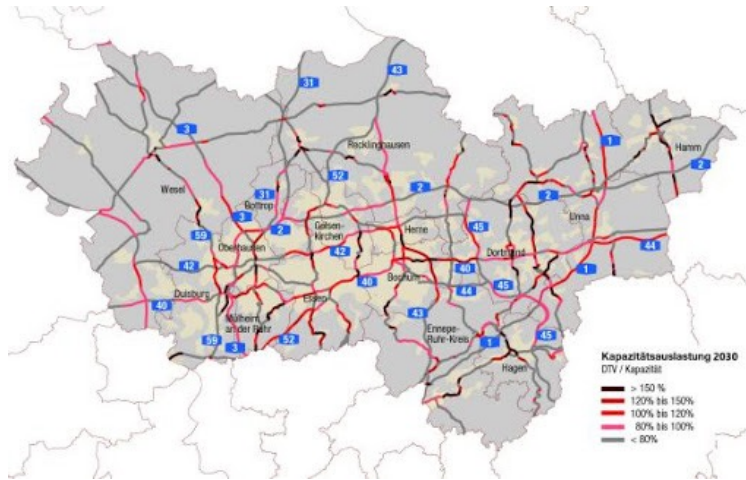
????



Kranken- und
Rettungstransporte

Quelle: Airbus, Lilium, Volocopter, Aurora, Joby

Beispiele für Einsatzgebiete



Ruhrgebiet



Los Angeles

Gemeinsamkeiten:

- Ca. 150 km Umkreis vom Zentrum
- Ca. 300 km Ausdehnung
- 4 – 10 Mio Menschen



Metropolregion Hamburg

Nachfragegetriebene Lufttaxiflüge am Beispiel Hamburg

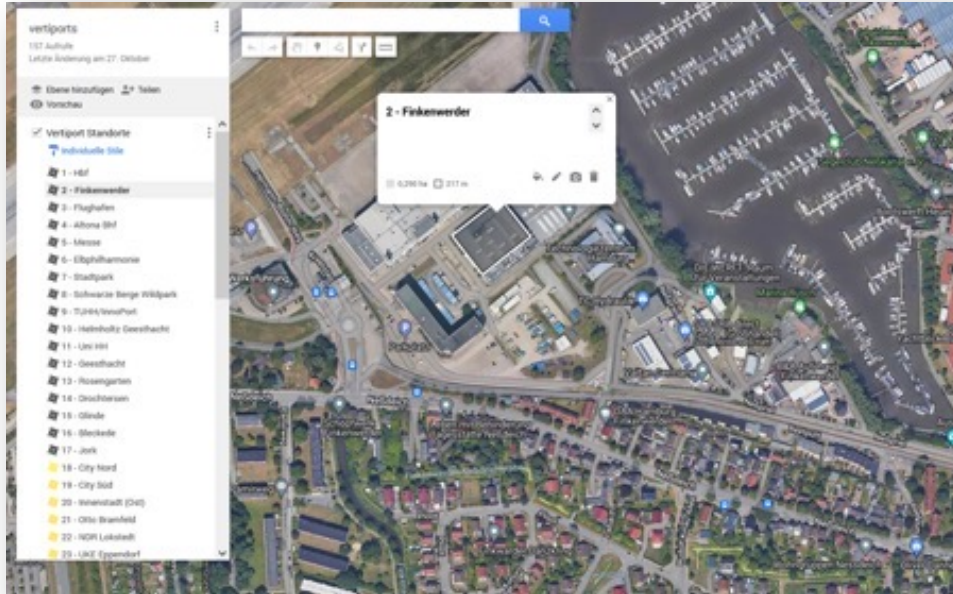


- **Vielzahl an Engpässen**, häufig mitten auf Wegstrecke
- Keine expliziten **O-D Paare**, die per **UAM entlastet** werden können
- Auswahl und Aufbau von **Szenarien**, für die ein Startpunkt des Netzwerks bieten können
 - **Pendler**
 - **Freizeit**
 - **Peripherieanbindung**

UAM führt zu keiner expliziten Entlastung, sondern ist Zusatzangebot

Quelle: TUHH

Nachfragegetriebene Standorte am Beispiel Hamburg



Identifizierte 56 potentielle Standorte für Vertiports
in Hamburg und Umgebung
17 Peripherieanbindungen
27 Pendlerstandorte in 20 Gemeinden
10 Freizeitstandorte



An- und Abflugbereich für Lufttaxis an einer
Hamburger Kreuzung nach aktuellen EASA
Vorgaben

Sogenannte Vertiports müssen auf Freiflächen oder Gebäuden installiert werden, um Lufttaxis im Urbanen Umfeld zu integrieren

Quelle: TUHH

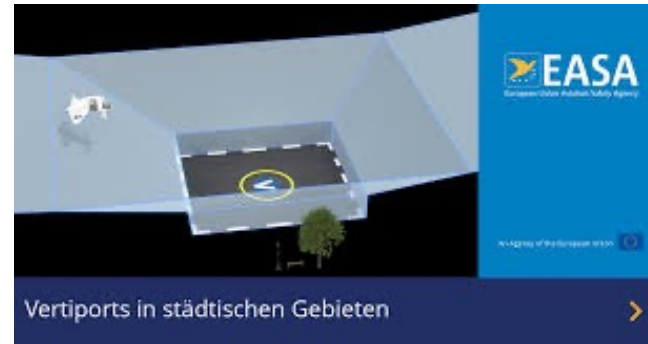
Start- und Landeinfrastrukturen für Lufttaxis



<https://www.portofrotterdam.com/de/nachrichten-und-pressemittelungen/erster-drohnen-vertiport-in-den-niederlanden-in-betrieb-genommen>



<https://aerospaceamerica.aiaa.org/features/building-vertiport-cities/>



Es gibt schon Empfehlungen der Zulassungsbehörden



<https://www.github.org/>



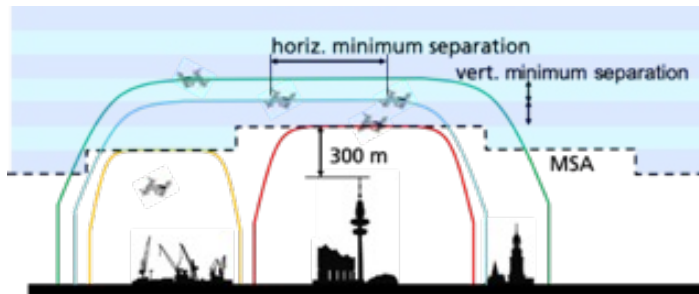
<https://vports.com/vports-to-create-the-first-international-advanced-air-mobility-corridor-between-montreal-and-quebec/>

Sogenannte Vertiports müssen auf Freiflächen oder Gebäuden installiert werden, um Lufttaxis im Urbanen Umfeld zu integrieren

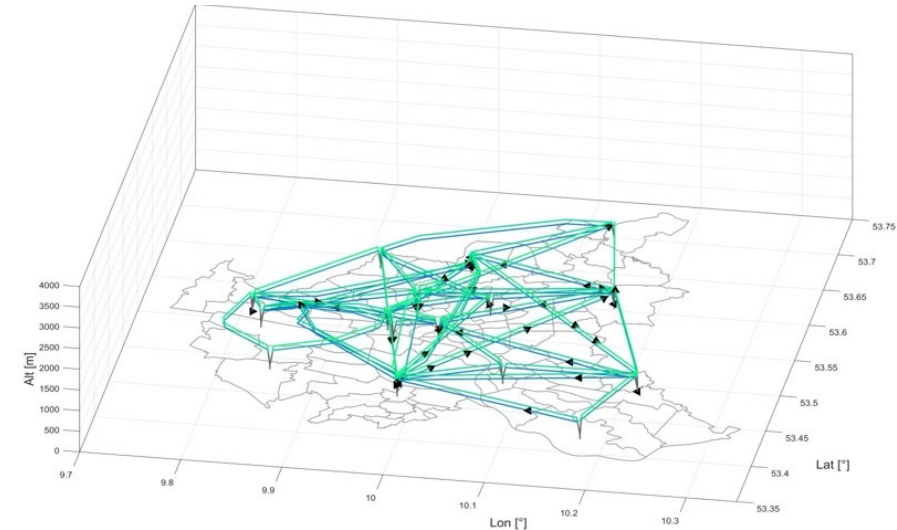
Start- und Landeinfrastrukturen für Lufttaxis

| | | horizontal separation | | |
|---------------------|------------|-----------------------|--------|--------------|
| | | 3 nm | 1000 m | 500 m |
| vertical separation | 300m | 24 | 755 | 3020 |
| | 100m | 72 | 2265 | 9060 |
| | 60m | 144 | 4530 | 18120 |

Zum Vergleich: Aktuell ca 450-500 Flugbewegungen über Hamburg insgesamt



Vorgeschlagene Luftraumstruktur



Luftraumstruktur auf 3 Ebenen zur richtungs- und höhenabhängigen Separation des UAM Flugverkehrs in Hamburg

Bis zu 18000 Flugbewegungen gleichzeitig möglich → kein Kapazitätsengpaß

Fluggeschwindigkeit muß an Urbanes Umfeld (Hinderniskulisse) angepaßt werden

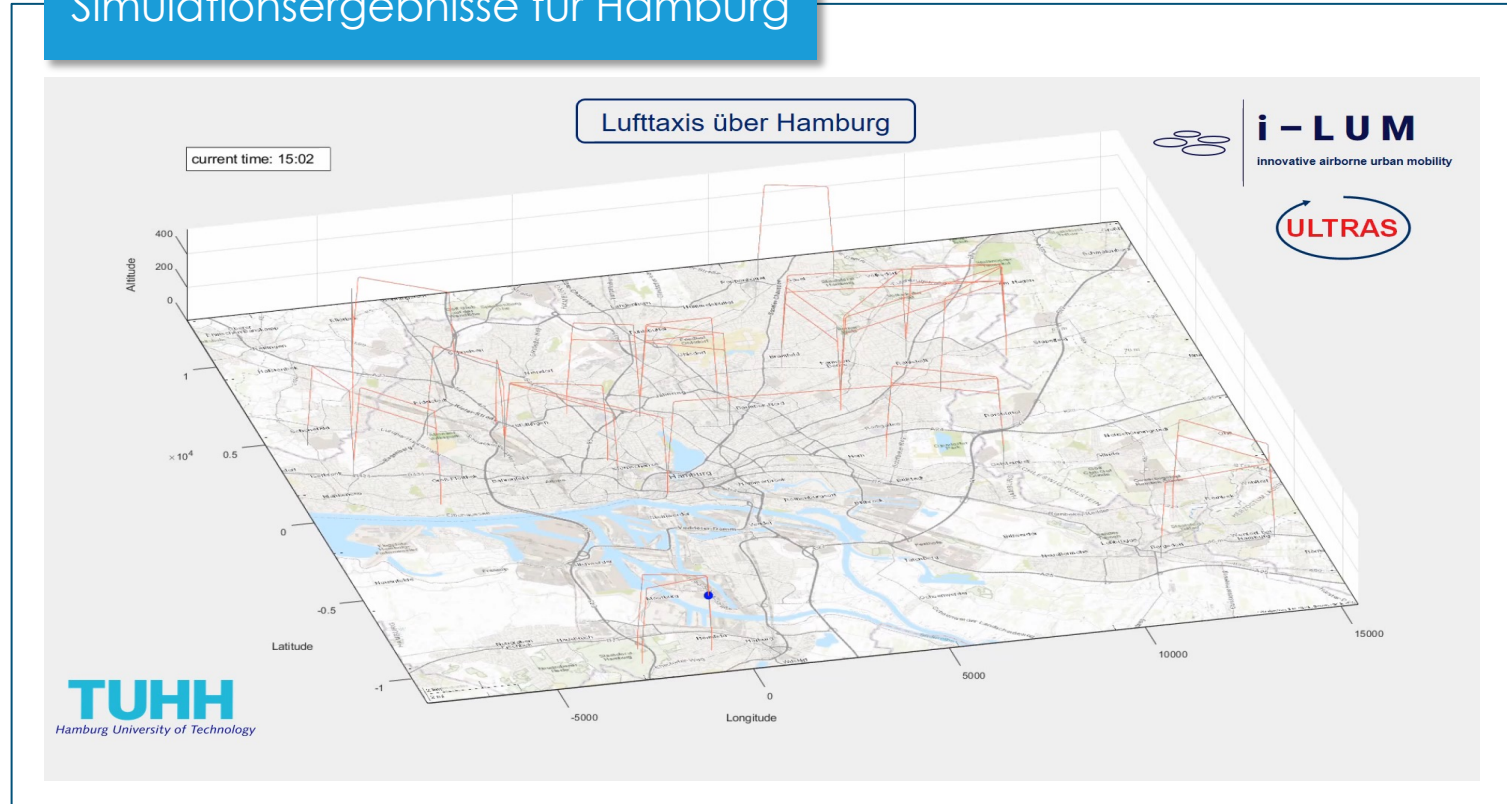


Aktuell werden Akzeptanz und Infrastrukturkosten untersucht

Quelle: TUHH

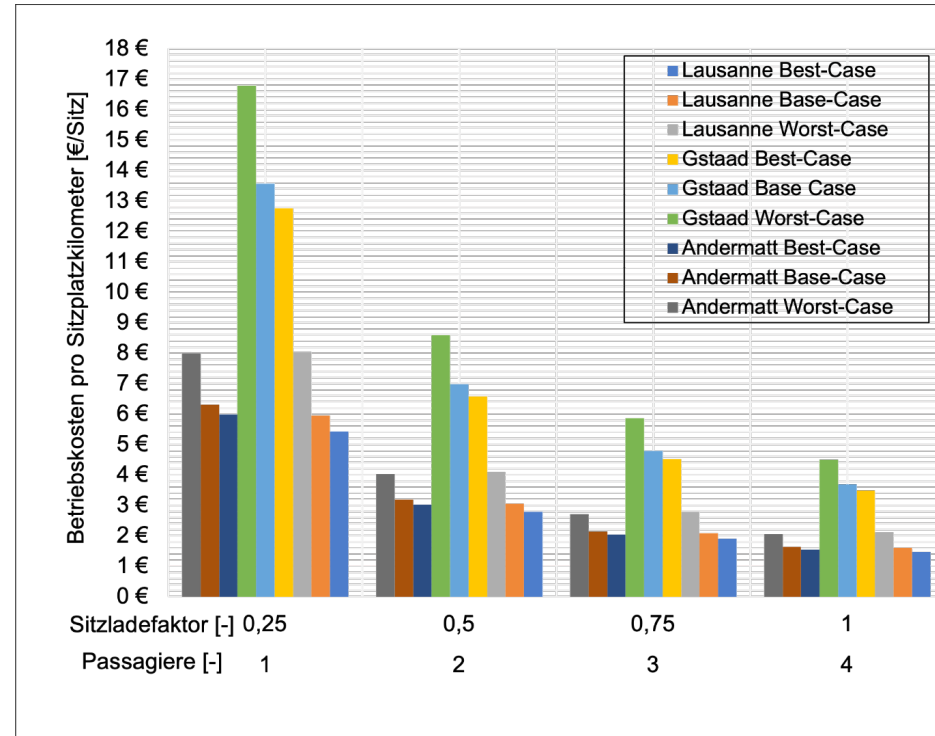
Nachfragegetriebene Lufttaxiflüge am Beispiel Hamburg

Simulationsergebnisse für Hamburg



Ein Beispiel aus der Schweiz -

Von Bern mit dem Lufttaxi nach ...



Lufttaxis als Ergänzungsangebot in der Mobilität sind erschwinglich

Ein Resümee

Die **Zukunft der Luftfahrt** muß **weniger, aber größere Flugzeuge** heißen, um das Klima zu schonen, Ressourcen nachhaltig zu nutzen und globale Mobilität zu erhalten

Betriebliche Verfahren können jetzt helfen und nicht wie neue Flugzeuge erst in 30 Jahren

Drohnen und Lufttaxis – Neue Spezies am Himmel für viele Sonderanwendungen, aber keine “Game“-Changer

Künstliche Intelligenz, Sensor- und Kommunikationstechnologien – die “**Game**“-Changer der Luftfahrt von heute und morgen

Neue Flugzeugkonzepte – gibt es, Erfolg fraglich

Luftkrieg 2050 ist kein Gespenst, sondern harte und traurige Realität gekennzeichnet durch (Des)**Informationskrieg und Cyberbedrohungen** (Stören, Hacken, Manipulieren, ...) und konventionelle Waffen sowie **unbemannte Flugsysteme**

Prof. Dr.-Ing. Volker Gollnick, OTL d.R.

Technische Universität Hamburg (TUHH)
Institut für Lufttransportsysteme

Blohmstraße 20
D-21079 Hamburg

Tel.: +49 (0)40 42878-4197
E-Mail: volker.gollnick@tuhh.de



Wir brauchen ein deutliches Umdenken in der Nutzung von
Flugsystemen



Vielen Dank!