

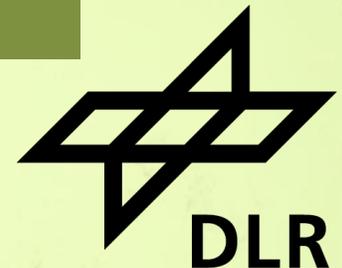
FLUGHÄFEN NEU DENKEN

WISSENSCHAFTLICHE IMPULSE FÜR KLIMAFREUNDLICHEN UND ATTRAKTIVEN LUFTVERKEHR

Vortrag AWiAS Aviation Days 2025

**Dr. Peter A. Meincke und Andrei Popa –
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt**

17. Juni 2025



Flughäfen neu denken - wissenschaftliche Impulse für klimafreundlichen und attraktiven Luftverkehr



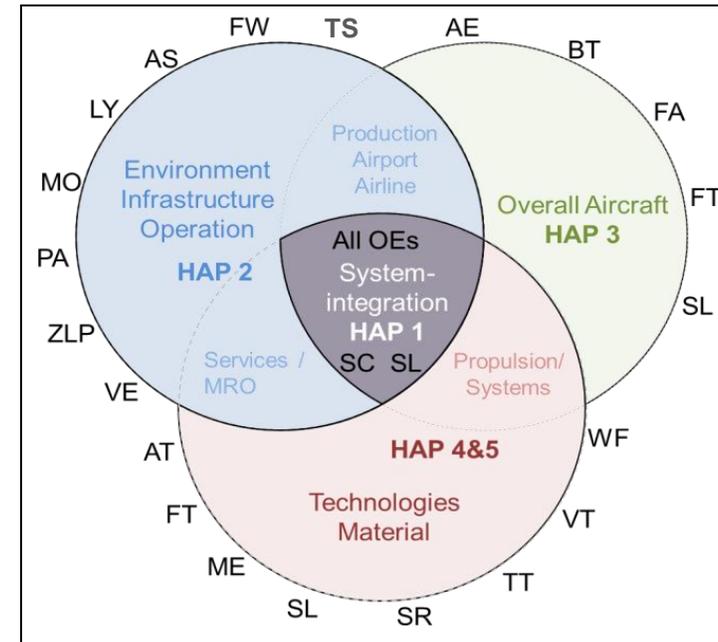
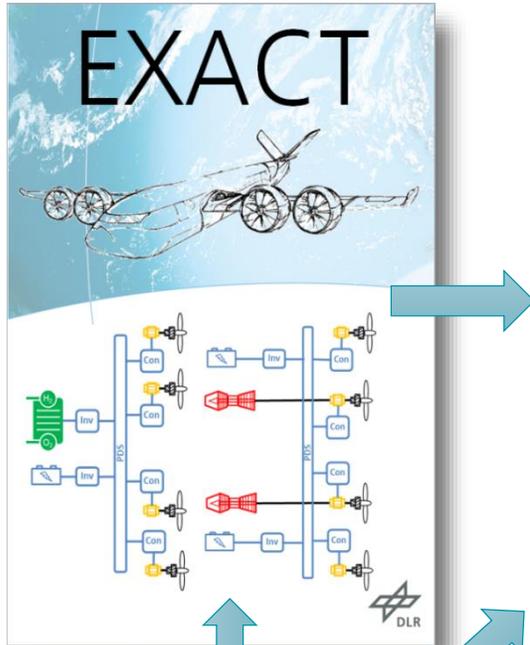
→ Routing für den heutigen Rundflug →

- Projektübersicht EXACT
- Einfluss auf die Flughafeninfrastruktur
- Projektübersicht THOR
- Ausgewählte Themenbereiche
- Landseitiger Flughafenbetrieb
- Ausblick



Konzepte & Technologien für klimaneutrales Fliegen

DLR-Projekt EXACT: 2020 - 2023; EXACT2: 2024 - 2026
Bereichsübergreifend: 20 DLR-Institute, 112 Mitarbeiter

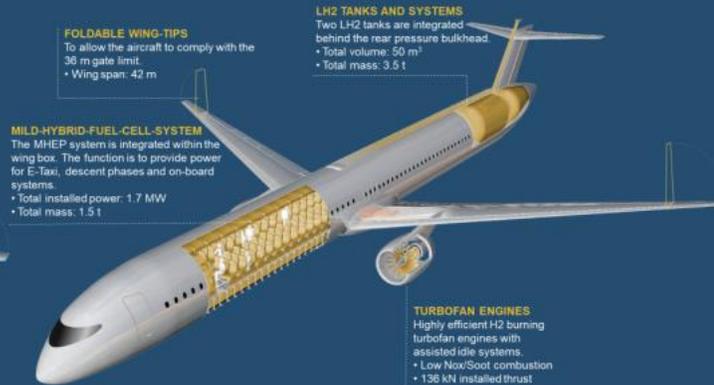


- Identifizierung von Flugzeugkonzepten und Technologien, die einen klimaneutralen Flug ermöglichen
- Definition einer entsprechenden Technologie-Roadmap
- Bewertung der zukünftigen Luftverkehrssysteme im Hinblick auf den gesamten Energie-Lebenszyklus
- Die Auswirkungen auf das Klima, die Gesellschaft, die Infrastruktur, usw.

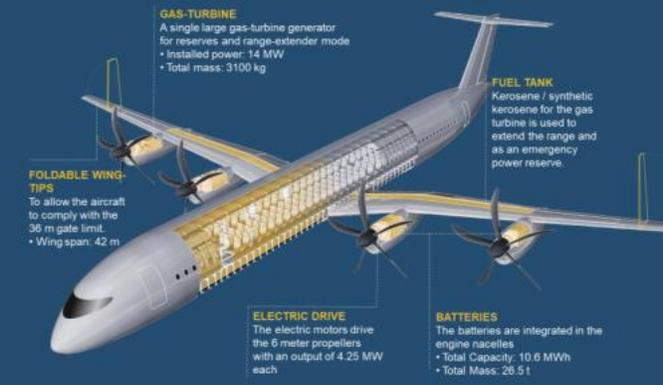
Turboprop Kerosene



LH2 Mild-Hybrid



Plug-In-Hybrid



Vehicle energy demand		-42%
Primary energy demand		+90%
CO2 reduction potential		100%
Climate impact reduction		35% to 90%
Seat mile cost		-10% to -15%
Entry into service		2040
MTOW		-9%
Fleet size change		-1%

Comparison with today's most efficient short-medium range aircraft with fossil kerosene

Vehicle energy demand		-25%
Primary energy demand		+45%
CO2 reduction potential		100%
Climate impact reduction		65% to 93%
Seat mile cost		0% to -5%
Entry into service		2040
MTOW		-1%
Fleet size change		-5%

Comparison with today's most efficient short-medium range aircraft with fossil kerosene

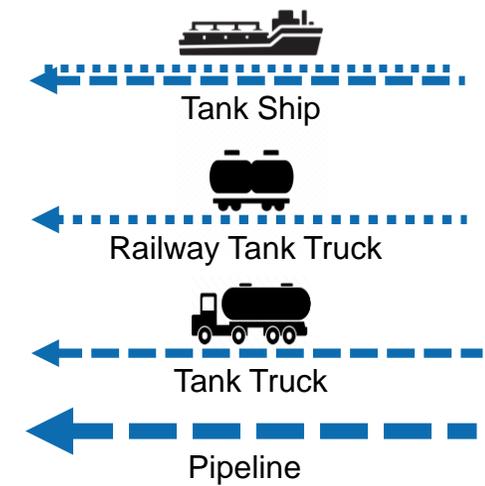
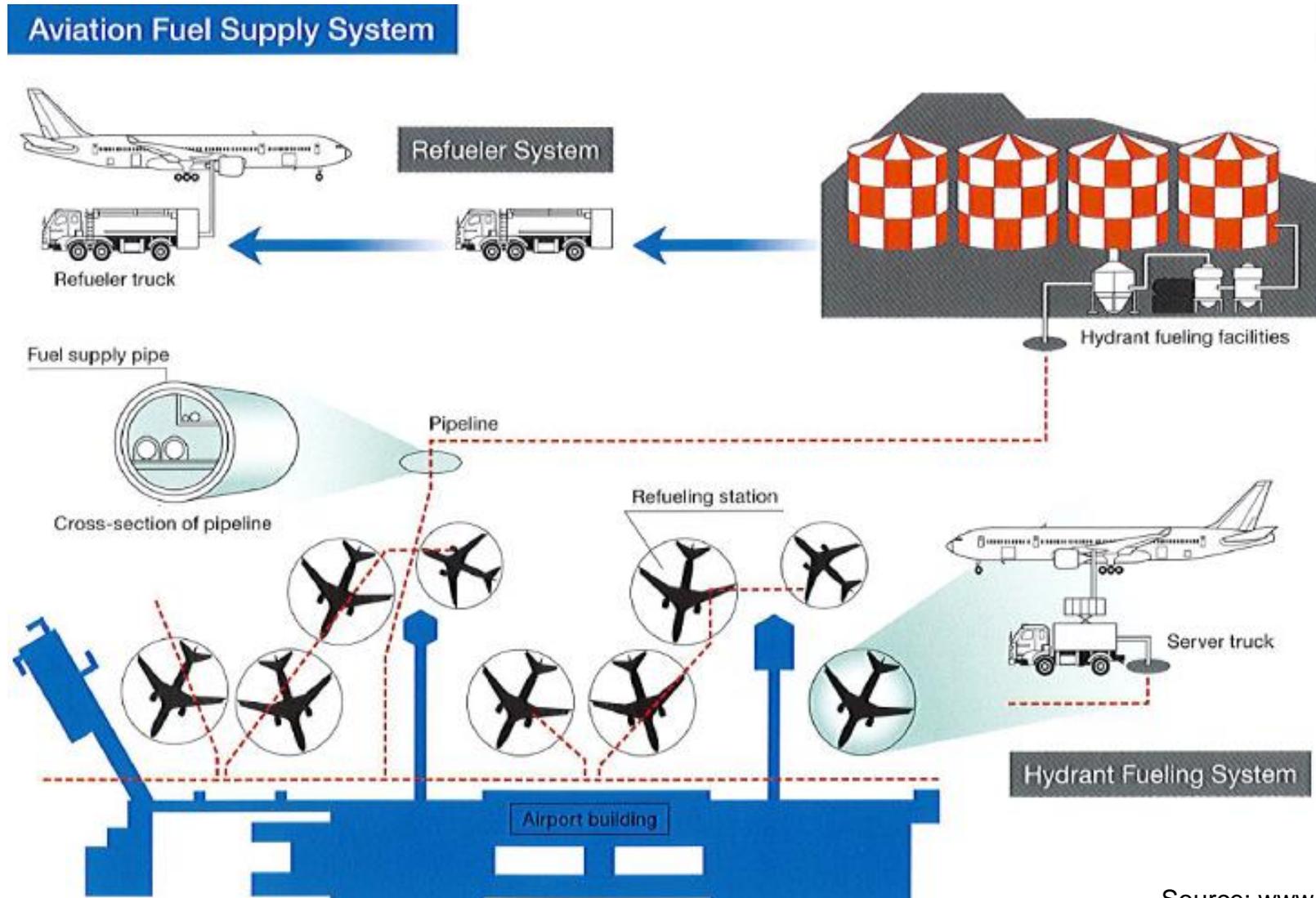
Vehicle energy demand		-60%
Primary energy demand		-10%
CO2 reduction potential		100%
Climate impact reduction		70% to 85%
Seat mile cost		-10% to -15%
Entry into service		2040
MTOW		35%
Fleet size change		-4%

Comparison with today's most efficient short-medium range aircraft with fossil kerosene



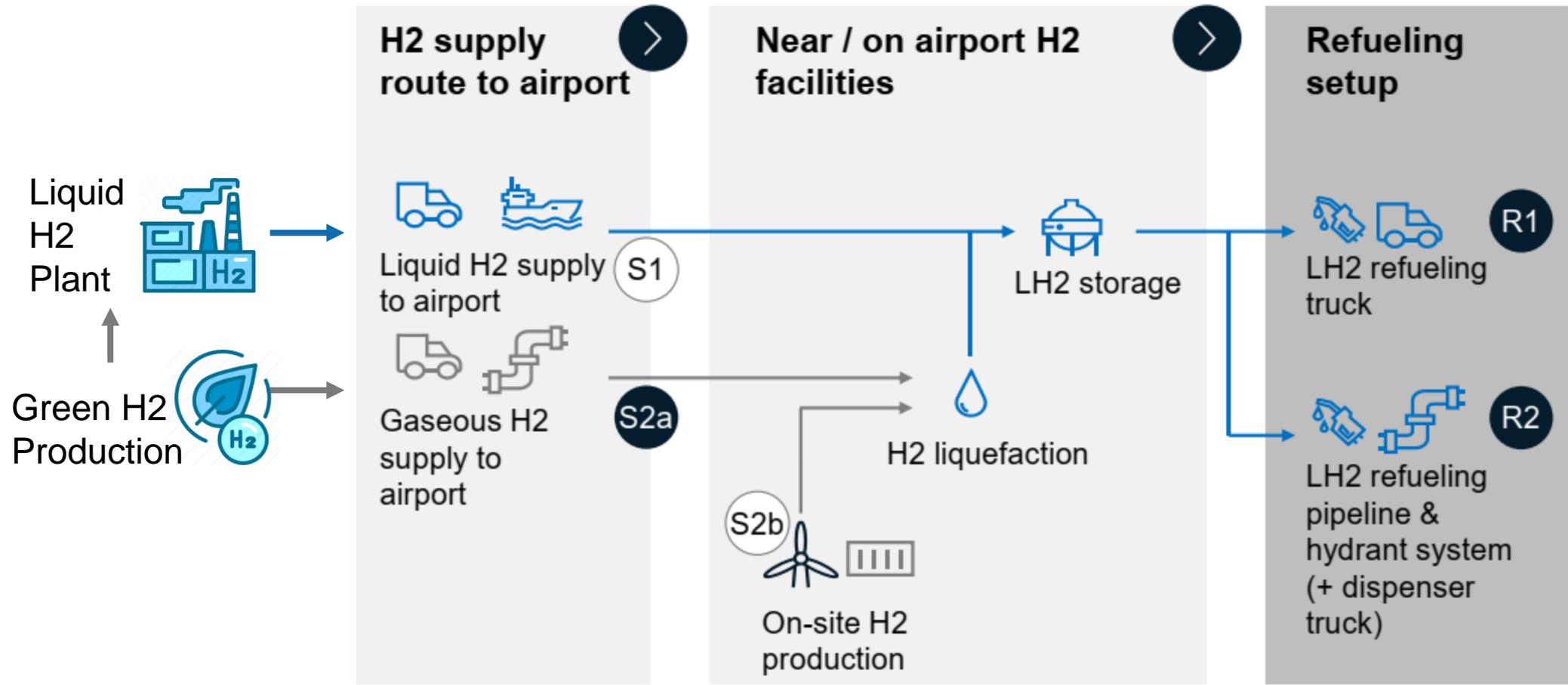
Analyse der Flughafeninfrastruktur im Hinblick auf die Verwendung von nachhaltigen und alternativen Flugkraftstoffen (Bsp. Wasserstoff)

Topologien für Wasserstoff (H₂)-Versorgungswege und LH₂-Betankungsanlagen an Flughäfen



Source: www.aviation.stackexchange.com/

Topologien für Wasserstoff-Versorgungswege und LH2-Betankungsanlagen an Flughäfen



Source: J. Hoelzen et al. (2022)

Analyse der zukünftigen Flughafeninfrastruktur - Deutsche Flughäfen Daten basierend auf der "DLR - Luftverkehrsprognose & LH2-Nachfragemodellierung"*



Flughäfen in Deutschland		Wasserstoff in t					
		2040	pro Tag*	2045	pro Tag*	2050	pro Tag*
München	MUC	12.380	33,8	997	199,50	1709	341,85
FRANKFURT	FRA	12.328	33,8	954	190,48	1603	320,80
BERLIN	BER	6.950	19,5	543	108,27	922	184,46
DÜSSELDORF	DUS	5.421	14,4	432	86,22	737	147,37
HAMBURG	HAM	4.189	11,3	329	65,16	560	111,28
STUTTGART	STR	2.449	6,2	194	38,10	324	64,16
KÖLN/BONN	CGN	1.944	5,1	145	29,7	242	48,12
HANNOVER	HAJ	1.198	3,1	92	18,5	155	30,8
NÜRNBERG	NUE	589	1,6	48	9,2	82	16,4
BREMEN	BRE	527	1,4	41	8,2	68	13,3
DRESDEN	DRS	418	1,1	37	7,2	63	12,3
LEIPZIG	LEJ	299	0,8	24	4,1	41	8,12
MÜNSTER/OSNAB.	FMO	180	0,5	15	2,9	24	4,8
DORTMUND	DTM	137	0,4	8	1,5	11	2,1
KARLSRUHE	FKB	111	0,3	9	1,7	14	2,8
SAARBRÜCKEN	SCN	103	0,3	8	1,6	13	2,5
FRIEDRICHSHAFEN	FDH	88	0,2	8	1,6	14	2,7
PADERBORN	PAD	70	0,2	5	0,9	7	1,4
WESTERLAND	GWT	37	0,1	4	0,7	6	1,1
HAHN	HHN	34	0,1	2	0,3	2	0,4
MEMMINGEN	FMM	22	0,1	2	0,3	3	0,5
WEEZE	NRN	22	0,1	1	0,1	1	0,2
LAAGE	RLG	17	0	2	0,3	2	0,4
ERFURT	ERF	13	0	1	0,2	2	0,3

**Flüssiger Wasserstoff
(4 t pro LKW)**

Flughäfen mit höherer Nachfrage

Flughäfen mit einer Nachfrage von einem Lkw einmal/zwei Mal pro Woche/Monat

Connection über die Schiene?

Pipelines ?

Bedarf an Lösungen bis **2045**



IATA-Richtlinien für die Mindestanforderungen an die Kerosinvorräte auf Flughäfen (z.B. 2-5 Tage für LH2)

* Daten des DLR-Instituts für Luftverkehr und Flughafenfor

Herausforderungen für Flughäfen mit LH2-Infrastruktur

	Anzahl LH ₂ -Tanks HAM	
Jahr	Szenario 1: 2 Tage Puffer	Szenario 2: 3 Tage Puffer
2035	0,1	0,1
2040	0,4	0,7
2045	0,7	1,1
2050	1,0	1,4
MAX	1,3	1,9

**Platzbedarf
für einen Tank und
Zuwegungen:
~ 3000 m²**



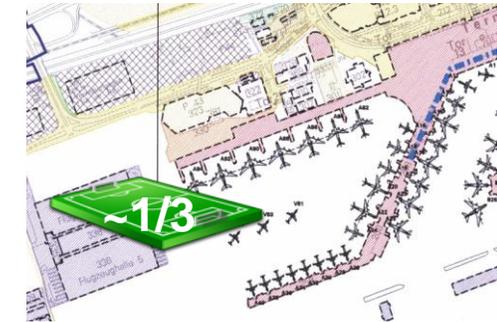
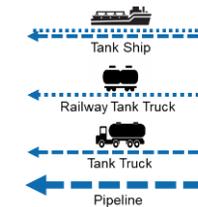
Herausforderungen für Flughäfen mit LH2-Infrastruktur



- Treibstoffvorräte für den Fall unerwarteter Ereignisse:**
 IATA-Richtlinien für Mindestanforderungen an die Kerosinvorräte von Flughäfen
 (z.B. LH2 für FRA im Jahr 2045* ~ 1.000 Tonnen; im Jahr 2050* ~ 1.700 Tonnen)
- Freiflächenbedarf für die Lagerung von Treibstofftanks**
 Das derzeit größte LH2-Lager benötigt etwa 3.000 m² Platz für 270 Tonnen LH2
- Wasserstoffbedarf vs. Transportart: Eine Vielzahl von Möglichkeiten,**
 einschließlich Pipeline, LKW, Schiff oder Zug.
 Jede Methode hat ihre Vor- und Nachteile, abhängig von der Entfernung,
 der Menge des transportierten Wasserstoffs und den logistischen Herausforderungen.
- Wasserstoffherstellungsanlagen haben zur Zeit eine Kapazität 10 Tonnen GLH2 pro Tag (Leuna)**
 In der größten Anlage in Amerika etwa 34 Tonne pro Tag (Grün?)
- Hohe Investitionen in die Infrastruktur: Der Transport von Wasserstoff erfordert**
 eine geeignete Infrastruktur, z.B. eine Flüssigwasserstoffanlage (20-30 Mio. €)
- Der Transport großer Mengen von Wasserstoff erfordert sorgfältige Planung,**
 Sicherheitsmaßnahmen, technologische Innovationen und Investitionen --> Gesamtplan



Source: NASA



Source: FRAPORT



Source: LINDE



Source: Iwatani

Source: H2 MoBILITY

ROADMAP ZUR WASSERSTOFFNUTZUNG AN MITTELGROSSEN FLUGHÄFEN



Nachfrage grüner Wasserstoff

Nachfrage grüner Strom



Technologieentwicklung und -förderung Ausbau Infrastruktur

Markteinführung

Markthochlauf

Flugzeughersteller / Airlines:
Liefer- und Abnahme-
sicherheit H₂-Flugzeuge



GH₂-Erstflüge

GH₂-Tankstelle / Tank

Gesetzgeber:
Politischer Rahmen
und Regularien

Flughafen:
Versorgung /
Lieferverträge H₂

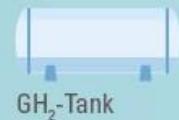
- Zertifizierungen
- Zulassungen
- Sicherheitsstandards
- Prozesse

- Vorbereitungen
- H₂-Lagertanks
 - H₂-Truck-Stellplätze
 - Fueling facilities



GH₂-Flüge

Pipelineanschluss



GH₂-Tank



GH₂-LKWs / Dispenser



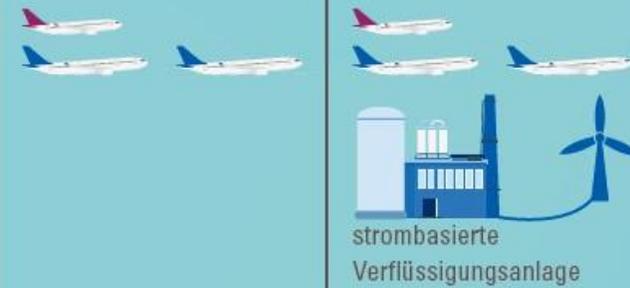
LH₂-Flüge



LH₂-Tank



LH₂-LKWs / Dispenser



strombasierte
Verflüssigungsanlage



LH₂-Tank



LH₂-LKWs / Dispenser



LH₂-LKWs / Dispenser

2025

2030

2035

2040

2045

2050

GH₂ = gasförmiger H₂
LH₂ = flüssiger H₂
■ = Meilensteine



ÜBERSICHT

Motivation



ACI – European Airports commitment

ACI EUROPE RESOLUTION

Adopted by the ACI EUROPE Board on 16 May 2019
Published at the 29th Annual Congress & General Assembly on 26 June 2019
Updated on the occasion of the 2nd Aviation Sustainability Summit on 20 May 2021

EUROPEAN AIRPORTS COMMITTING TO NET ZERO CARBON EMISSIONS BY 2050

NET ZERO

Zero Carbon Emissions
2050

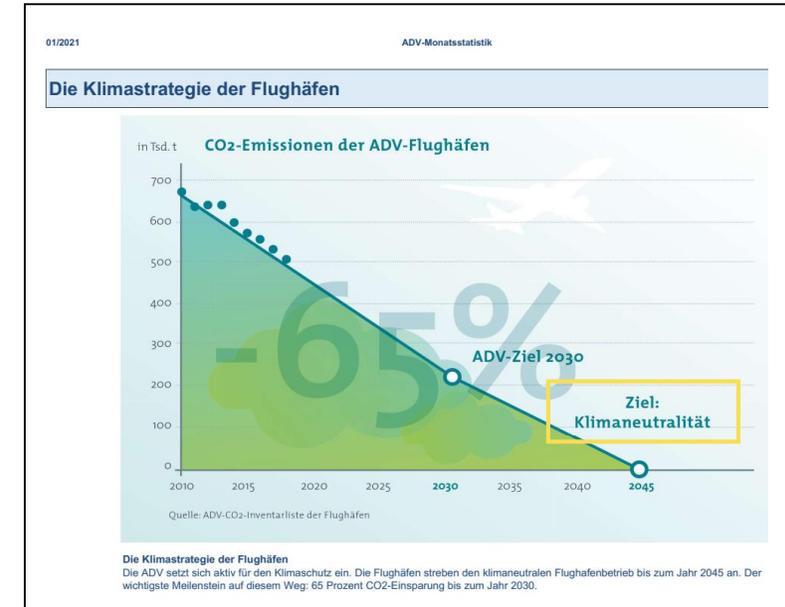
Luftfahrtstrategie des DLR

AUF DEM WEG ZU EINER KLIMAVESTRÄGLICHEN LUFTFAHRT | EXECUTIVE SUMMARY

Die Luftfahrtstrategie des DLR

Klimaneutraler Flughafenbetrieb

Klimastrategie Flughäfen und der ADV



Klimaneutralität
2045

Stand der Technik

Ansatz heute

0745	FR	2178	DUS Weeze	A	Verspätet 10:20
0755	4U	2014	Stuttgart	D	Verspätet 10:00
0755	FR	5492	Frankf Hahn	A	Verspätet 10:00
0800	FR	5903	Bremen	A	Verspätet 10:20
0800	4U	012	Köln Bonn	D	Verspätet 10:10
0810	FR	9703	Stockholm	A	Verspätet 10:20
0835	SX	4011	Bern	D	Verspätet 09:17
0850	EZS	1591	Genf	F	Verspätet 10:23
0850	LY	351	Tel Aviv	A	Gelandet
0855	EZY	4371	Lyon	A	Verspätet 10:

Zukunft?

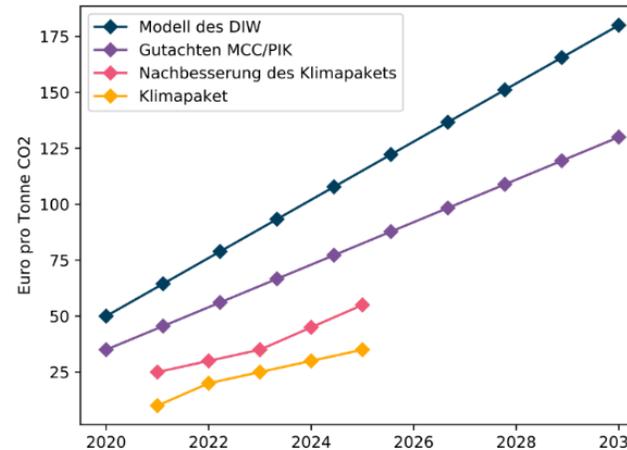
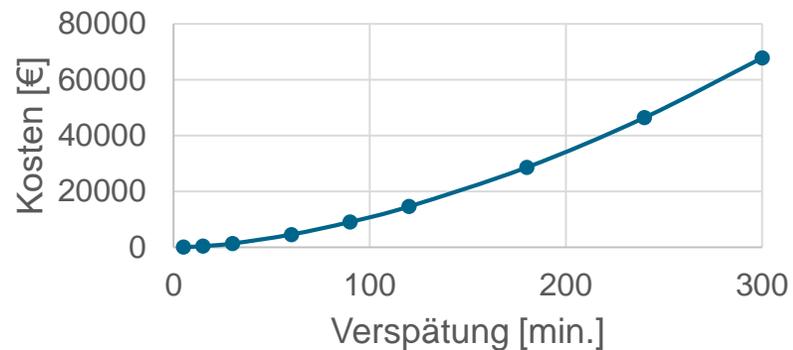


Primär: Vermeidung von Verspätungen!

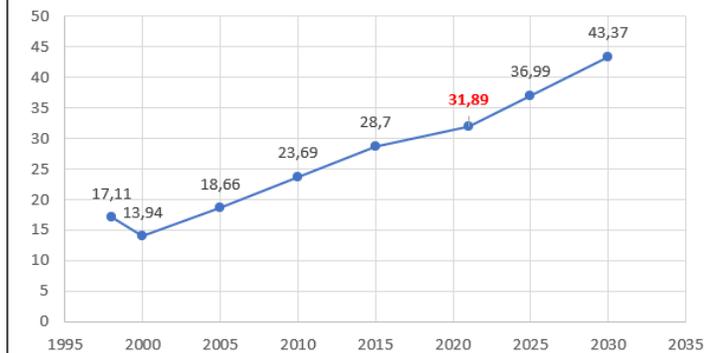
Energieeffizienz und Nachhaltigkeit als zusätzliche Faktoren mit einbeziehen

Verspätungskosten

(A320, am Gate, Baseline, taktische Kosten)



Strompreis in ct/kWh



Arbeitsinhalte



Luftseitiger Flughafenbetrieb



- Automatisierte Vorfeldprozesse
- Taxi- & Runway Operations
- Energieoptimierte Steuerung der Abfertigungsprozesse



Landseitiger Flughafenbetrieb



- Passagierprozesse („Ultrafaste“)
- Simulationen Terminalprozesse



Flughafeninfrastruktur und Energieversorgung



- Anforderungen Infrastrukturen
- Track and Trace für SAF
- Energieatlas für Airports
- Bewertungsmodelle



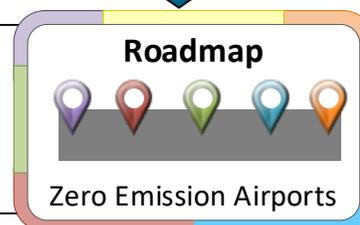
Wirkzusammenhänge und Systemübergreifende Optimierung



- Ganzheitliche Flughafensteuerung
- Ökonomisches Flughafenmodell
- Validierung und Impact



Roadmap



- Zusammenfassung der Einzelmodelle/konzepte



AUSGEWÄHLTE THEMENBEREICHE

Luftseitiger Flughafenbetrieb

SuperRO – Super Close Runway Operations



Blue Sky Research im DLR

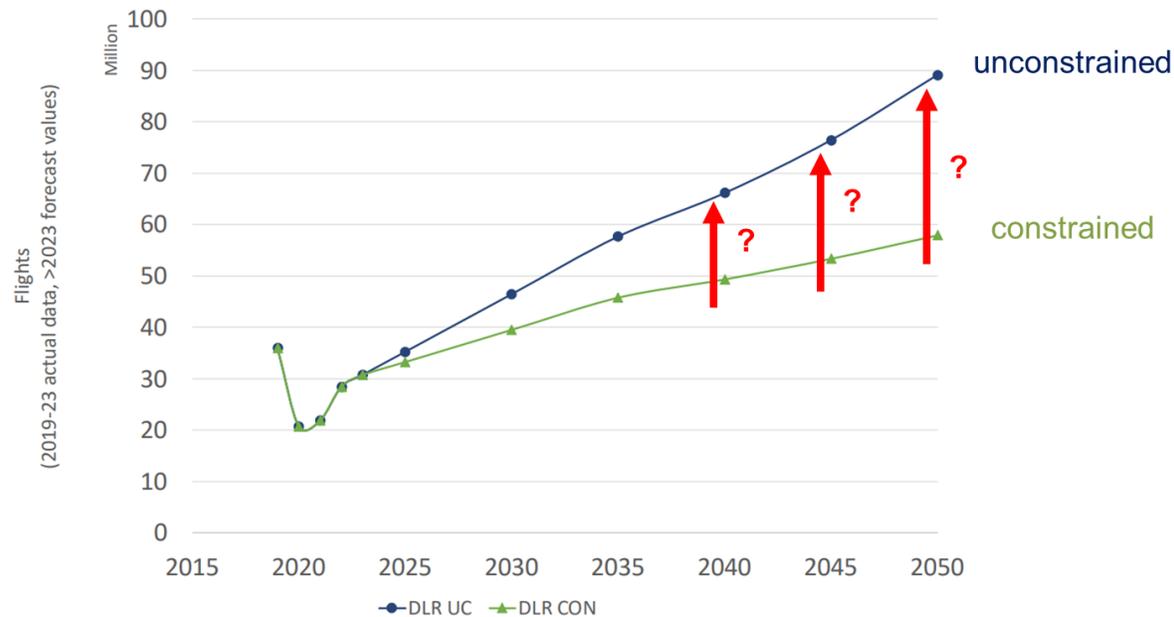


Figure 10: Results of the DLR forecasts: Global flight volume until 2050



Versuche im Cockpit-Simulator GECCO
(Paired Approaches auf Runways mit 100 Metern Achsabstand)



Luftseitiger Flughafenbetrieb

Schleppen bis zur Bahn

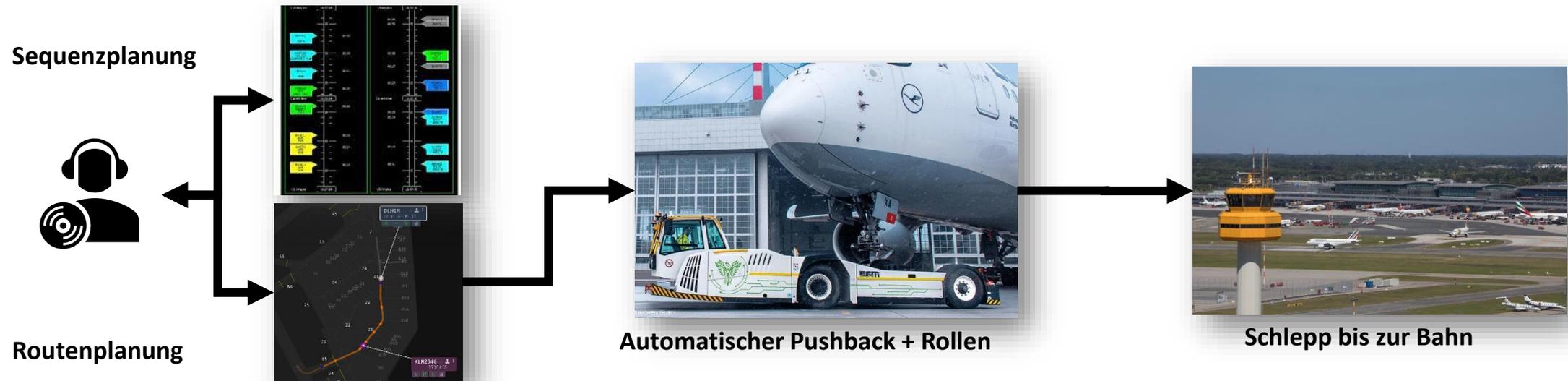


Elektrisches Schleppen bis zur Bahn

Potential: Einsparung von 20% aller Flughafenemissionen

Herausforderung 1: Vehikelverfügbarkeit (Aktueller Akku hat nur die Hälfte des Bedarfs)

Herausforderung 2: Längere Einsatzzeit (Mehr Personal - Für Bologna Airport Faktor 2,5)

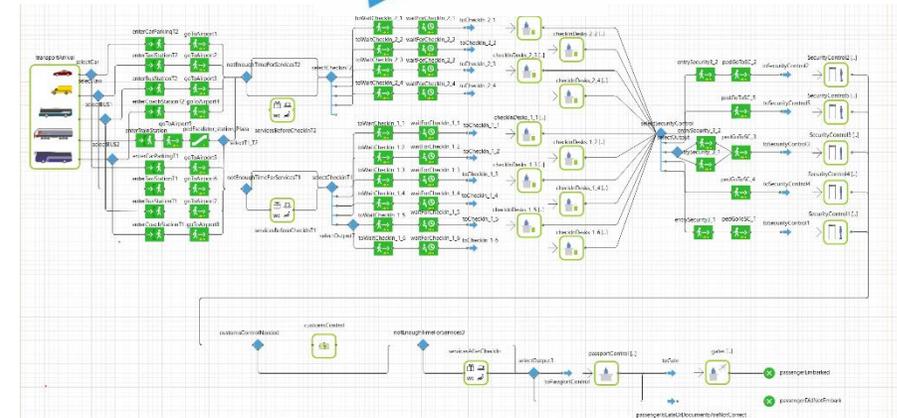


Adaptives Planungssystem für konfliktfreie und optimierte Flugzeug-Bodentrajektorien + Automationskomponente = **AutoTraMICS**

Landseitiger Flughafenbetrieb



Welche mögliche Maßnahmen haben das Potential den Energieverbrauch zu senken **und** gleichzeitig die betrieblichen Abläufe nicht (zu stark) beeinträchtigen ?



- Zentral organisierter automatisierter Check-in und Bagage Drop-off
- Neue Security-Technologien
- Biometrische Ausweisung/Personalisierte Services



KI generierte Beispielbilder



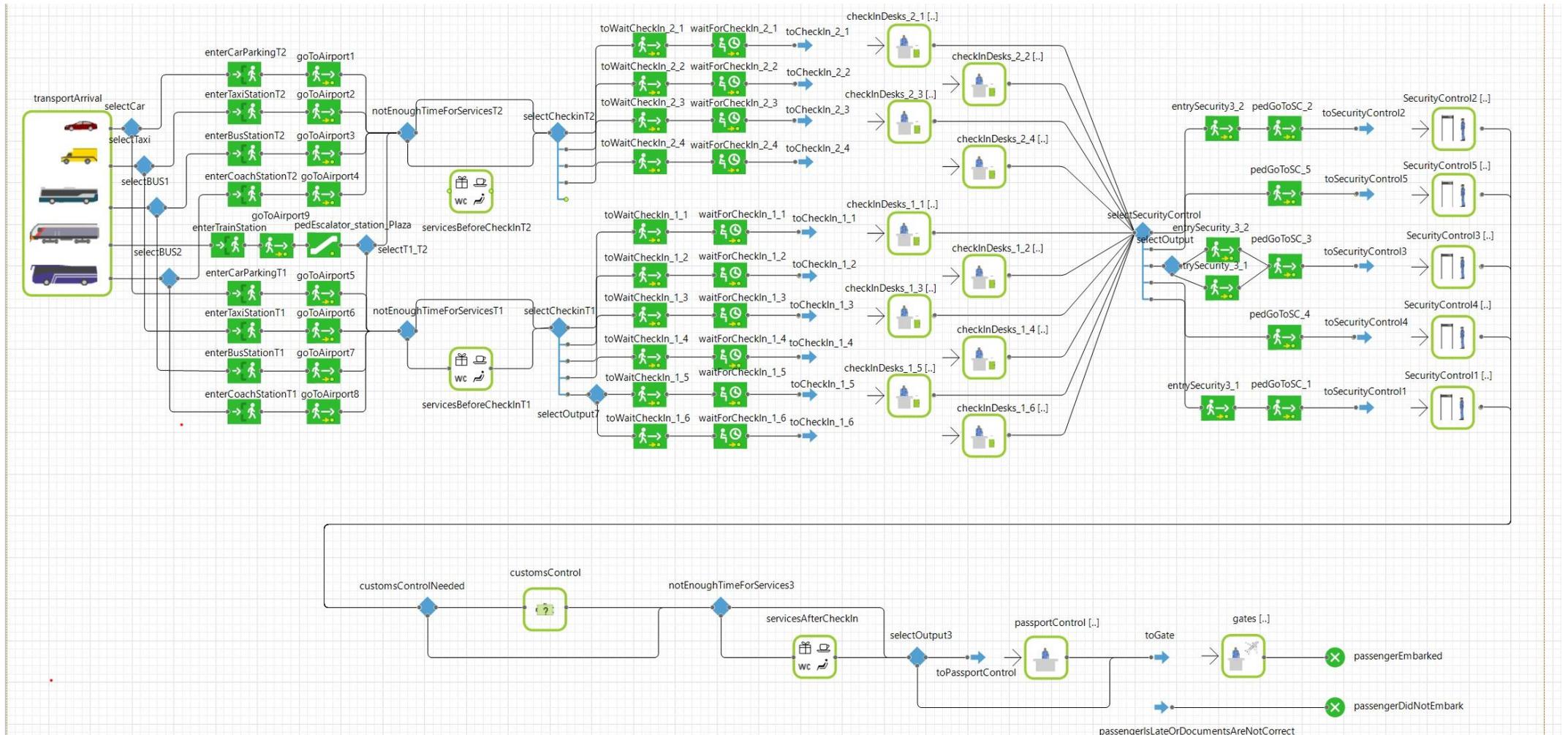
LANDSEITIGER FLUGHAFENBETRIEB

- Maßstabgetreuer Grundriss des Flughafen Hamburgs von Terminals und Gates

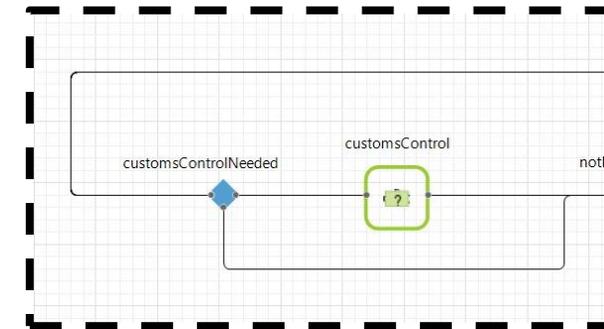
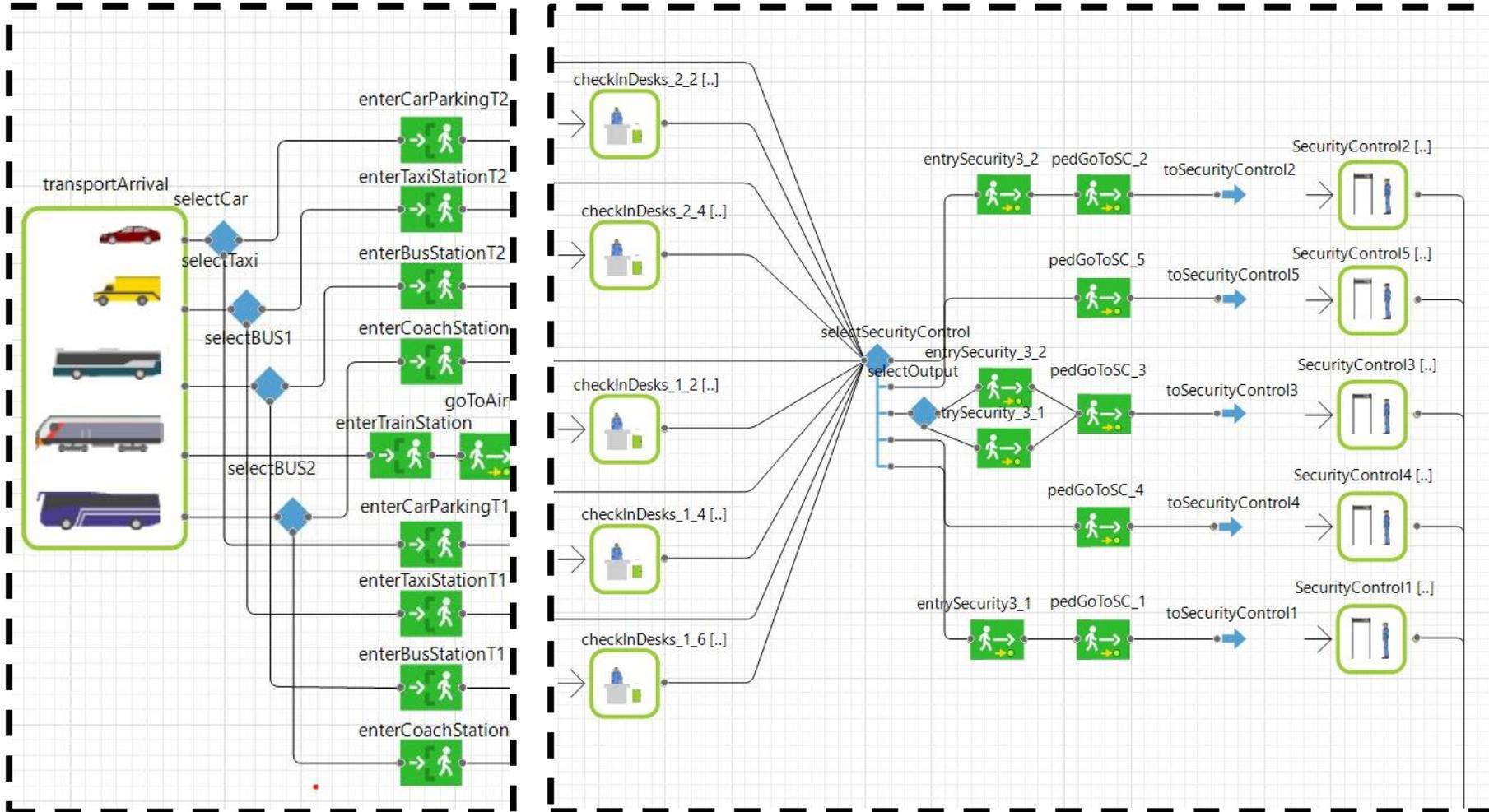


- Flugplan eines repräsentativen Flugtages 05.04.2024

Unterstützt systemdynamische, ereignisorientierte und agentenbasierte Simulationsmethodik



Software für die Simulation (ZOOM)



Quelle: DLR - FHG Departure Simulation – Flussdiagramm (Any Logic)

Model für den landseitigen Betrieb Flg. Hamburg



Datenliste - Departure (Flugplan vom Flugtag 05.04.2024)



- **Ankunftsverteilung der Passagieren nach Modalsplit**
- **Zuordnung der Gates**
- **Anteil an Passagieren mit Priorität Status**
- **Anteil der Passagiere Schengen und non-Schengen**
- **Anteil der vorab abgefertigte Passagiere**
(online eingecheckt und ohne Abgabe des Reisegepäcks), die direkt zur Sicherheitskontrolle (SiKo) laufen
- **Check-in Schalter und Check-in Automaten**
 - Anteil Abfertigung Schalter/Automat
 - Anzahl
 - Zuordnung zu Airlines
 - Öffnungs- und Schließzeiten
 - **Prozessdauer pro Passagier und Schalter/Automat als Verteilung**
- **Gepäckaufgabeautomaten**
 - Anzahl
 - Zuordnung zu Airlines
 - **Prozessdauer pro Passagier und Automat als Verteilung**
- **Zutrittskontrolle zur SiKo**
 - Anzahl
 - **Prozessdauer pro Passagier und Automat als Verteilung**
- **SiKo-Lanes**
 - Anzahl prio und non-prio
 - Öffnungs- und Schließzeiten
 - **Prozessdauer pro Passagier und Kontrollstelle als Verteilung**
- **Passkontrolle**
 - Anzahl Schalter und Automaten
 - **Öffnungs- und Schließzeiten**
 - **Prozessdauer pro Passagier und Schalter/Automat als Verteilung**
- **Gate**
 - Zuordnung zu Flügen
 - Öffnungs- und Schließzeiten
 - Prozessdauer pro Passagier und Automat als Verteilung

Datenliste - Arrival (Flugplan vom Flugtag 05.04.2024)



- Zuordnung der Gates
- Anteil Schengen und non-Schengen
- **Passkontrolle**
 - Anzahl Schalter und Automaten
 - Öffnungs- und Schließzeiten
 - Prozessdauer pro Passagier und Schalter/Automat als Verteilung
- **Gepäckausgaben**
 - Zuordnung zu Flügen
 - Öffnungs- und Schließzeiten
- **Zollkontrolle**
 - Anteil der kontrollierten Passagieren
 - Prozessdauer pro Passagier als Verteilung



Ausblick

Optimierter Weg der Luftfracht

Frachtterminal

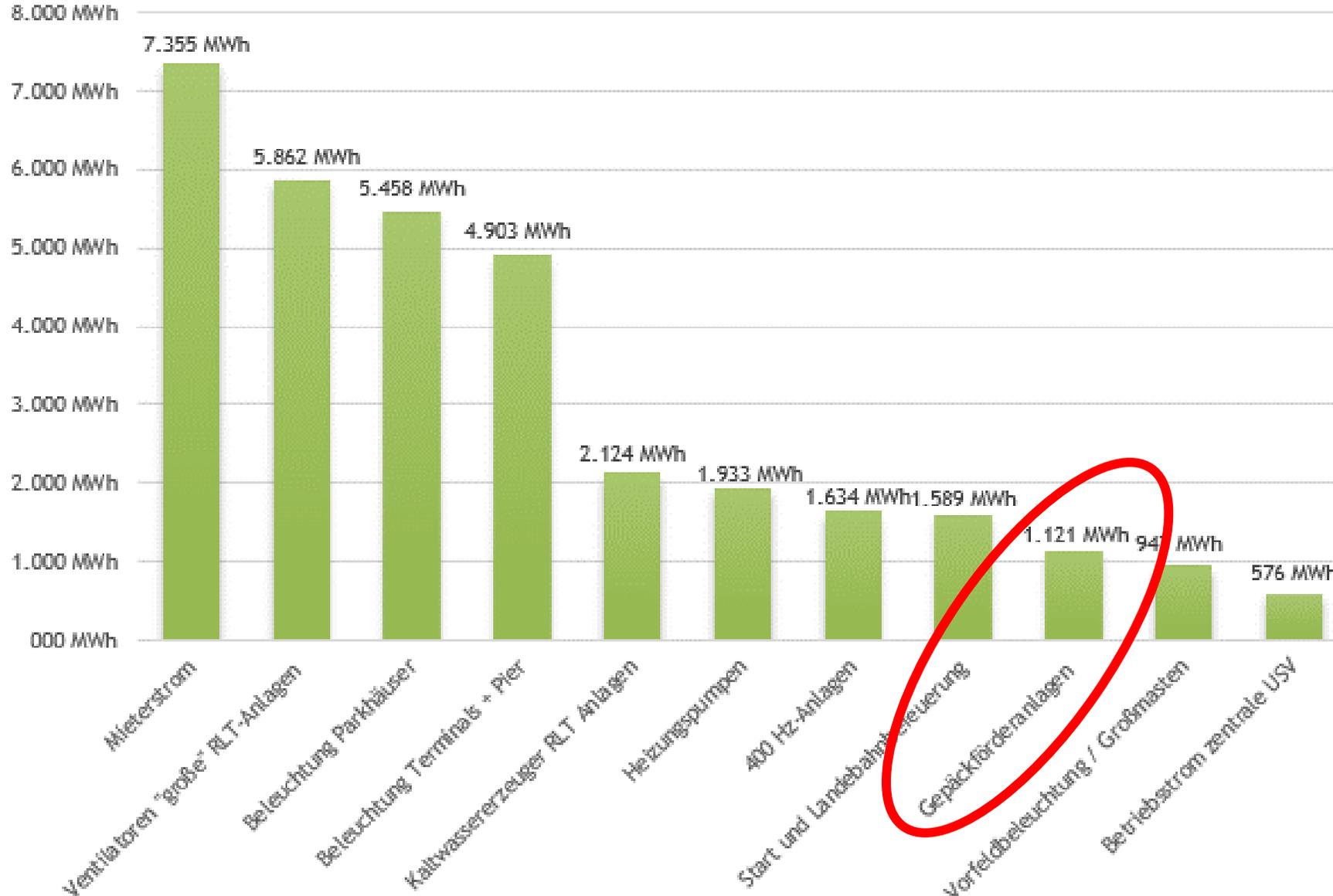


Ist auf dem „Schirm“ wird aber aus Zeit- bzw. Budgetgründen in „THOR 1“ nicht möglich sein.



Maßnahmen für mögliche Optionen?

Überblick der stromintensiven Verbraucher (Bsp. HAM)



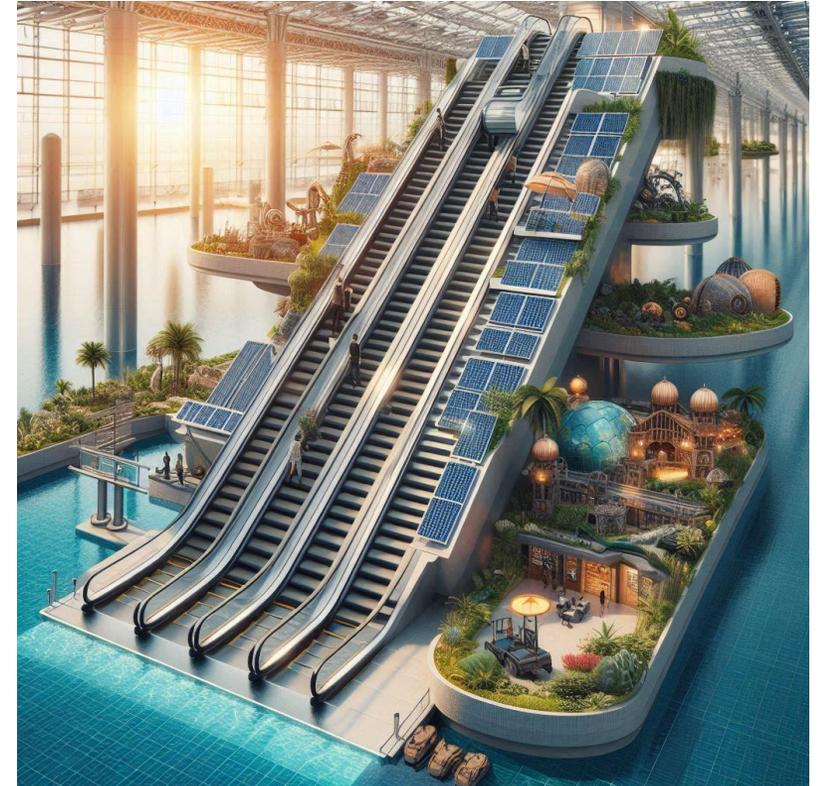
Potentialermittlung für Energieeinsparungen im Terminalbereich

- Welche mögliche Maßnahmen haben das Potential den Energieverbrauch zu senken **und** gleichzeitig die betrieblichen Abläufe nicht (zu stark) beeinträchtigen.

Die Recherchen ergaben, dass Maßnahmen im operativen Betrieb keine Anwendung finden, sondern strategisch umgesetzt werden

Bsp. Einsatz von stromsparenden Rolltreppen.

- Gewichtung der Prioritäten bei Einführung neuer Maßnahmen:
 1. Security
 2. Level of Service
 3. Kosten
 4. Energie sparen



Zentral organisierter automatisierter Check-in und Baggage Drop-off (1 von 2)



Kurzbeschreibung:

- Aktuell ist die Airline für Check-in und Baggage Drop-off zuständig. Counter Abfertigung ist weit verbreitet.

Neuerung:

- Airline übergreifende Nutzung aller Automaten
- Abfertigung am Counter nur in Ausnahmefällen möglich
Annahme 10% aller PAXE

Randbedingungen:

- Bereitschaft der Airlines eine gemeinsame Schnittstelle zum Datenaustausch zu vereinbaren
- Datenintegration (jeder Automat darf auf die jeweilige Dateninfrastruktur der Airline zugreifen)



Zentral organisierter automatisierter Check-in und Baggage Drop-off (2 von 2)



Positive Effekte:

- Bessere Auslastung der Check-in bzw. Baggage Drop-off Infrastruktur
- Senken der Kosten
- Evtl. Reduzierung des Energieverbrauchs
- Ermöglicht ein Terminal-Shutdown (→ dazu später)

Möglicher Nachteil:

- Check-in erste Interaktion mit Airline am Flughafen und damit wichtig für Brand-Image der Airline entfällt



Neue Security-Technologien (1 von 5)



Kurzbeschreibung:

Um stetig die Sicherheit im Sinne von Security zu erhöhen, werden neue Technologien sowohl für die Personen als auch für die Gepäckkontrolle entwickelt

Randbedingungen:

- Gesetzgebung
- Komfort und Passagieraufkommen
- Gepäckaufkommen



Neue Security-Technologien (2 von 5)



Kurzbeschreibung:

Um stetig die Sicherheit im Sinne von Security zu erhöhen, werden neue Technologien sowohl für die Personen als auch für die Gepäckkontrolle entwickelt:

- **Neuartige CT Scanner**

Bei Handgepäck wird keine Entnahme von Flüssigkeiten und elektrischen Geräten notwendig (Typ C3)

- **Walkthrough Security**

Separierung durch Ganggestaltung: Scannen im Gehen mit oder ohne Handgepäck möglich

- **KI-Scanner**

Nutzung von Sensoren im Flughafen zum Trainieren eines Machine Learning Algorithmus



Neue Security-Technologien (3 von 5)



Neuartige CT Scanner

Bei Handgepäck wird keine Entnahme von Flüssigkeiten und elektrischen Geräten notwendig (Typ C3)

KI unterstützt zur besseren Erkennung

■ Positive Effekte:

- Erhöhter Komfort durch Wegfallen der Entnahme von Flüssigkeiten und elektrischen Geräte
- Erhöhung des Durchsatzes
- Erhöhte Sicherheit durch größeren Informationsgehalt
- Senkung der Personalposten

■ Nachteil:

- Erhöhter Energieverbrauch



Neue Security-Technologien (4 von 5)



Walkthrough Security

- Scannen im Gehen
- Mit oder ohne Handgepäck möglich
- Separierung durch Ganggestaltung

Positiver Effekt:

Erhöhter Komfort durch geringe Interaktion mit Security

Nachteile: Zulassung



Neue Security-Technologien (2 von 3)



KI-Scanner

Nutzung von Sensoren im Flughafen zum Trainieren eines Machine Learning Algorithmus für Auswahl

- Genauerer Kontrolle möglich
- Verschiedene Sensoren möglich: Kamera, Millimeterwellen
- Eventuell vorher Datenaufbereitung notwendig:
Kamera Daten auf Skelett Modell übertragen
 - ☞ Aktuell werden MMW Geräte verwendet, die beim Stehen die Kleidung durchleuchten
- Auswertung erfolgt durch Bilderkennung o. Remote Operator

Positiver Effekt: Verbesserung der Gefahrendetektion

Nachteile: Evtl. erhöhter Energieverbrauch



Biometrische Ausweisung/Personalisierte Services (1 von 2)



Kurzbeschreibung:

Abgleich biometrischer Daten zur Ausweisung

- Je nach Ausführung für Check-in, Border Control und Boarding verwendbar
- Erste proprietäre Systeme in Dubai (Smart Tunnel) und Frankfurt a.M. (Smart Path)
- IATA arbeitet mit verschiedenen Ländern, Flughäfen und Fluggesellschaften an **One ID**
 - ☞ *Easy Pass: biometrische Daten aus dem Ausweis*
- Bei nicht staatlichen Methoden werden die ID Daten vorher erhoben und mit eigenen biometrischen Daten verknüpft



Biometrische Ausweisung/Personalisierte Services (2 von 2)



Randbedingungen:

- Anmeldung an den jeweiligen Flughafen
- Hohe Anforderung an die Datensicherheit

Positive Effekte:

- Erhöhter Komfort
 - ☞ Wenig Interaktion im System
 - ☞ Schnelle Abfertigung
- Erhöhte Sicherheit
 - ☞ Weniger Falschidentifikation (OneID)
 - ☞ Potential zur Vermeidung von großen Menschenmengen
- Personalisierte Abfertigungsinformationen (z.B. durch Steuerung im erweiterten TAM)
- Durch optimierten Passagierfluss Energieeinsparung möglich



Nachteil: Nicht flächendeckend eingesetzt, da freiwillig

Terminal-Shutdown



Kurzbeschreibung:

Klimatisierung eines Terminals verursacht beträchtlichen Anteil am Energieverbrauch.

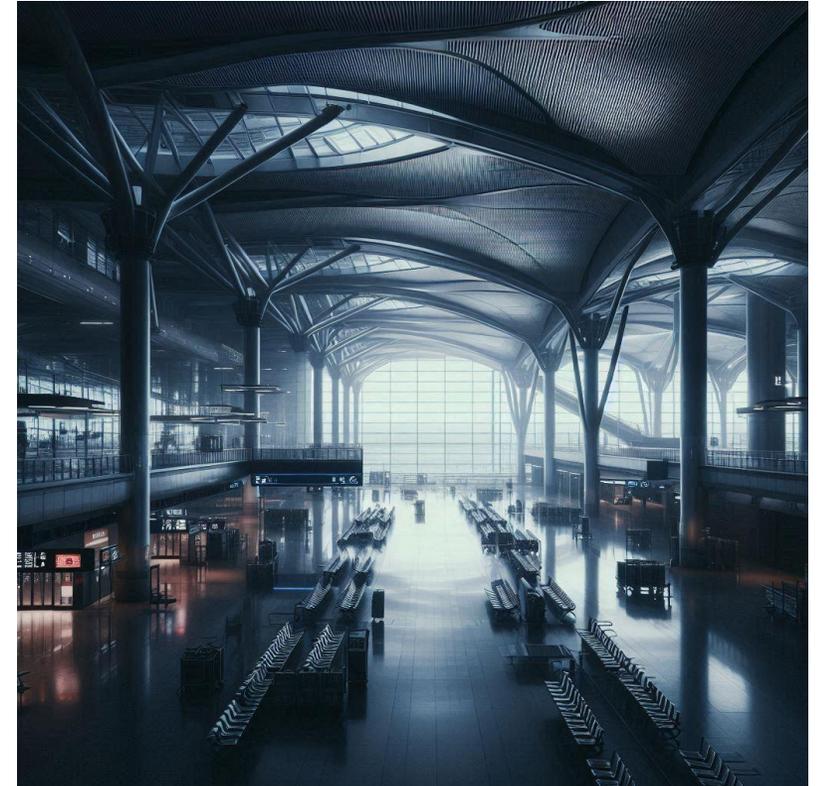
Verlagerung der Abfertigung auf ein anderes Terminal denkbar

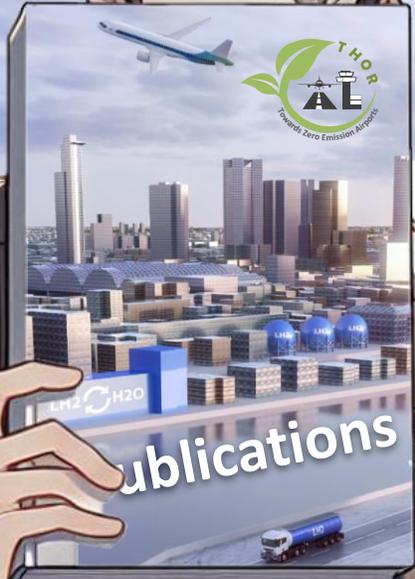
Randbedingungen:

- Möglichkeit des Herunterfahrens der Klimatisierung in einem einzelnen Terminals
- Nur bei wenig Passagieraufkommen
- Möglichkeit der Übertragung der Abfertigungsprozesse
- Zustimmung aller betroffenen Stakeholder am Flughafen

Positiver Effekt: Mögliche Energieeinsparung

Nachteil: Organisatorisch aufwändig ggf. finanzielle Einbußen bei Retailing





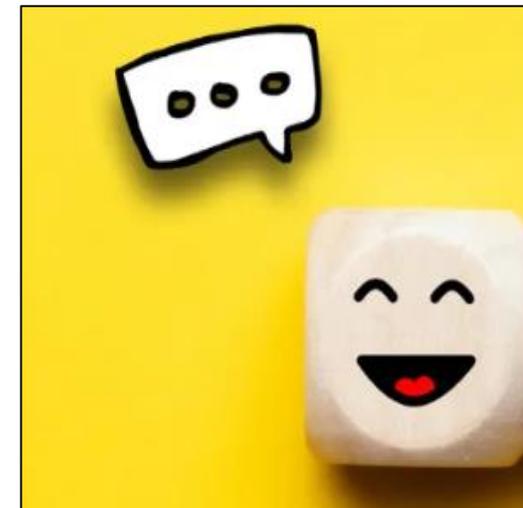
Veröffentlichungen



Veröffentlichungen



- Probst, Patrick (2024)
Efficiency within an air freight terminal Process optimization concerning service levels and economy in consideration of energy efficiency.
Masterarbeit.
Kühne Logistics University Hamburg.
- Capric, Edona (2024)
Infrastructure requirements on airports in support of electric aviation demands.
Masterthesis.
Technische Hochschule Braunschweig, Institute for Electromagnetic Compatibility.
- Bittner, Jan Philipp (2024)
Effizienzbewertung der landseitigen Passagier und Gepäckabfertigung an Flughäfen.
Masterarbeit.
Technische Universität Braunschweig.
- Hellwig, Franziskus (2024)
Analyse der Auswirkungen eines Einsatzes von Wasserstoff als Flugzeugtreibstoff auf die Flughafeninfrastruktur und Ableitung von Handlungsempfehlungen auf Grundlage der ermittelten Ergebnisse.
Masterarbeit.
Technische Hochschule Wildau.





Ausblick





QUELLEN



- ^[1]<https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet---one-id/>
- ^[2] Key Performance Indicator for Security Measurement at Airports, 2015, Olaf Milbredt and Julia Strer
- ^[3] Journal of Theoretical and Applied Information Technology 28th February 2021. Vol.99. No 4
- ^[4] <https://www.iata.org/en/programs/passenger/one-id/>
- ^[5] <https://www.bmi.bund.de/DE/themen/moderne-verwaltung/ausweise-und-paesse/personalausweis/personalausweis-node.html>
- ^[6] https://www.fraport.com/content/dam/fraport-company/documents/newsroom/infografiken/de/online/Faktenblatt%20Digitales%20Reisen.pdf/_jcr_content/renditions/original./Faktenblatt%20Digitales%20Reisen.pdf
- ^[7] Schmitt, Dieter; Gollnick, Volker (2016): Air Transport System. Vienna: Springer Vienna.
- ^[8] Smart Airport: A Review on Future of the Airport Operation, 2020, Aruna Rajapaksha and Dr. Nisha Jayasuriya
- ^[9] <https://www.futureairport.com/features/featurecheck-out-the-new-check-in-7308115/>
- ^[10] Ashford, Norman J.; Mumayiz, Saleh; Wright, Paul H. (2011): Airport engineering. Design, planning, and development of 21st century airports. Fourth edition. Hoboken, New Jersey: Wiley. Online verfügbar unter <http://onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/9780470950074>.
- ^[11] ICAO (01.04.2022): FLIGHT ATTENDANT MANUAL STANDARD, vom SECOND EDITION.
- ^[12] <https://www.vanderlande.com/systems/transportation/tubtrax/>
- ^[13] <https://www.beumergroup.com/knowledge/airport/ics-individual-carrier-system-baggage-handling/>
- ^[14] <https://www.siemens-logistics.com/en/airport-logistics/baggage-handling-systems/variortray>
- ^[15] International Civil Aviation Organization (2017): Security. Safeguarding international civil aviation against acts of unlawful interference. Annex 17. Tenth Edition. Montreal: International Civil Aviation Organization (Annex 17 to the Convention on International Civil Aviation).

- ^[1]<https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet---one-id/>
- ^[2] Key Performance Indicator for Security Measurement at Airports, 2015, Olaf Milbredt and Julia Strer
- ^[3] Journal of Theoretical and Applied Information Technology 28th February 2021. Vol.99. No 4
- ^[4] <https://www.iata.org/en/programs/passenger/one-id/>
- ^[5] <https://www.bmi.bund.de/DE/themen/moderne-verwaltung/ausweise-und-paesse/personalausweis/personalausweis-node.html>
- ^[6] https://www.fraport.com/content/dam/fraport-company/documents/newsroom/infografiken/de/online/Faktenblatt%20Digitales%20Reisen.pdf/_jcr_content/renditions/original./Faktenblatt%20Digitales%20Reisen.pdf
- ^[7] Schmitt, Dieter; Gollnick, Volker (2016): Air Transport System. Vienna: Springer Vienna.
- ^[8] Smart Airport: A Review on Future of the Airport Operation, 2020, Aruna Rajapaksha and Dr. Nisha Jayasuriya
- ^[9] <https://www.futureairport.com/features/featurecheck-out-the-new-check-in-7308115/>
- ^[10] Ashford, Norman J.; Mumayiz, Saleh; Wright, Paul H. (2011): Airport engineering. Design, planning, and development of 21st century airports. Fourth edition. Hoboken, New Jersey: Wiley. Online verfügbar unter <http://onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/9780470950074>.
- ^[11] ICAO (01.04.2022): FLIGHT ATTENDANT MANUAL STANDARD, vom SECOND EDITION.
- ^[12] <https://www.vanderlande.com/systems/transportation/tubtrax/>
- ^[13] <https://www.beumergroup.com/knowledge/airport/ics-individual-carrier-system-baggage-handling/>
- ^[14] <https://www.siemens-logistics.com/en/airport-logistics/baggage-handling-systems/variortray>
- ^[15] International Civil Aviation Organization (2017): Security. Safeguarding international civil aviation against acts of unlawful interference. Annex 17. Tenth Edition. Montreal: International Civil Aviation Organization (Annex 17 to the Convention on International Civil Aviation).

- [16] Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG (2019): R&S®QPS Walk2000 SICHERHEITSSCANNER. Produkt-Flyer | Version 05.00. Online verfügbar unter https://www.rohde-schwarz.com/de/produkte/aerospace-verteidigung-sicherheit/sicherheitsscanner/rs-qps-walk2000_63493-978496.html, zuletzt geprüft am 12.03.
- [17] IATA (07.06.2011): IATA Reveals Checkpoint of the Future. Online verfügbar unter <https://web.archive.org/web/20170526131854/http://www.iata.org/pressroom/pr/Pages/2011-06-07-01.aspx>, zuletzt geprüft am 12.03.2024.
- [18] Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG (2024): R&S®QPS201 QUICK PERSONNEL SECURITY SCANNER. Online verfügbar unter https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/pdm/cl_brochures_and_datasheets/product_brochure/3606_7160_11/QPS201_bro_de_3606-7160-11_v0600.pdf, zuletzt geprüft am 12.03.2024.
- [19] Institute of Electrical and Electronics Engineers (2020): Proceedings of the International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESCS 2020). 02-04, July 2020. Piscataway, NJ: IEEE. Online verfügbar unter <https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=9145513>.
- [20] Liu, Xiaoqing; Yue, Yingying; Shi, Meiling; Qian, Zhi-Ming (2019): 3-D Video Tracking of Multiple Fish in a Water Tank. In: *IEEE Access* 7, S. 145049–145059. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2945606.
- [21] Carbo, J.; Sanchez-Pi, N.; Molina, J. M. (2018): Agent-based simulation with NetLogo to evaluate ambient intelligence scenarios. In: *Journal of Simulation* 12 (1), S. 42–52. DOI: 10.1057/jos.2016.10.
- [22] anylogic (n.a.): Passenger Flow Simulation at Frankfurt Airport. Online verfügbar unter <https://www.anylogic.com/resources/case-studies/simulation-of-the-frankfurt-airport/>, zuletzt geprüft am 13.03.2024.
- [23] Ortega Alba, Sergio; Manana, Mario (2016): Energy Research in Airports: A Review. In: *Energies* 9 (5), S. 349. DOI: 10.3390/en9050349.
- [24] Bundespolizei (n.a.): Wo gibt es EasyPASS? Online verfügbar unter https://www.easypass.de/EasyPass/DE/Wo_gibt_es_EasyPass/wo_gibt_es_easypass_node.html, zuletzt geprüft am 13.03.2024.
- [25] German Bionic (n.a.): Transportation & Baggage Handling. Online verfügbar unter <https://germanbionic.com/en/industry/transportation/>, zuletzt geprüft am 13.03.2024.

Quellen 3 von 5



- ^[26] Lifts All (n.a.): Ergonomic and quick baggage lifting tools. Online verfügbar unter <https://liftsall.com/airport-handling-solutions/baggage-handling/>, zuletzt geprüft am 13.03.2024.
- ^[27] Vanderlande (n.a.): STACK@EASE. Online verfügbar unter <https://www.vanderlande.com/systems/make-up/stackease/>, zuletzt geprüft am 13.03.2024.
- ^[28] Vanderlande (n.a.): BAGLOAD integrated robot loading. Online verfügbar unter <https://www.vanderlande.com/systems/make-up/bagload/>, zuletzt geprüft am 13.03.2024.
- ^[29] Siemens (n.a.): VarioTip. Flughafenlogistik. Online verfügbar unter <https://www.siemens-logistics.com/de/flughafenlogistik/gepaeckfoerderanlagen/variotip>, zuletzt geprüft am 13.03.2024.
- ^[30] Vanderlande (n.a.): FLEET Bag. Online verfügbar unter <https://www.vanderlande.com/systems/transportation/fleet-bag/>, zuletzt geprüft am 13.03.2024.
- ^[31] Siemens (n.a.): Baggage Vision System. Online verfügbar unter <https://www.siemens-logistics.com/en/digitalization/baggage-vision-system>, zuletzt geprüft am 13.03.2024.
- ^[32] Hamburg Airport (n.a.): Self-Check-in. Online verfügbar unter <https://www.hamburg-airport.de/de/abfliegen-ankommen/check-in-metanavi/self-check-in>, zuletzt geprüft am 13.03.2024.
- ^[33] Lufthansa (n.a.): Lufthansa Express Rail – verbindet Bahn und Flugzeug nahtlos. Online verfügbar unter <https://www.lufthansa.com/de/de/lufthansa-express-rail>, zuletzt geprüft am 13.03.2024.
- ^[34] 2021 14th UK-Europe-China Workshop on Millimetre-Waves and Terahertz Technologies (UCMMT) (2021 - 2021). 2021 14th UK-Europe-China Workshop on Millimetre-Waves and Terahertz Technologies (UCMMT). Lancaster, United Kingdom, 13.09.2021 - 15.09.2021: IEEE.
- ^[35] Lee, Tiarna; Puyol-Antón, Esther; Ruijsink, Bram; Aitcheson, Keana; Shi, Miaoqing; King, Andrew P. (2023): An Investigation into the Impact of Deep Learning Model Choice on Sex and Race Bias in Cardiac MR Segmentation. In: Stefan Wesarg, Esther Puyol Antón, John S. H. Baxter, Marius Erdt, Klaus Drechsler, Cristina Oyarzun Laura et al. (Hg.): Clinical Image-Based Procedures, Fairness of AI in Medical Imaging, and Ethical and Philosophical Issues in Medical Imaging, Bd. 14242. Cham: Springer Nature Switzerland (Lecture Notes in Computer Science), S. 215–224.
- ^[36] Srinivasan, Ramya; Chander, Ajay (2021): Biases in AI systems. In: *Commun. ACM* 64 (8), S. 44–49. DOI: 10.1145/3464903.
- ^[37] Li, Lei; Correia, Paulo Lobato; Hadid, Abdenour (2018): Face recognition under spoofing attacks: countermeasures and research directions. In: *IET biom.* 7 (1), S. 3–14. DOI: 10.1049/iet-bmt.2017.0089.

Quellen 4 von 5



- ^[38] Maglio, Paul P.; Kieliszewski, Cheryl A.; Spohrer, James C.; Lyons, Kelly; Patrício, Lia; Sawatani, Yuriko (Hg.) (2019): Handbook of Service Science, Volume II. Cham: Springer International Publishing (Service Science: Research and Innovations in the Service Economy).
- ^[39] Deng, Gelei; Liu, Yi; Li, Yuekang; Wang, Kailong; Zhang, Ying; Li, Zefeng et al. (2023): MasterKey: Automated Jailbreak Across Multiple Large Language Model Chatbots. DOI: 10.48550/arXiv.2307.08715.
- ^[40] Flughafen München GmbH (2023): Umwelterklärung 2023. Umwelt am Flughafen München. Verbindung leben. Hg. v. Flughafen München GmbH. Online verfügbar unter https://www.munich-airport.de/_b/0000000000000022782446bb65d5b231/umwelterklaerung-fmg-20232.pdf, zuletzt geprüft am 15.03.
- ^[41] Smiths Detection Group Ltd (2023): HI-SCAN 6040 CTiX. Online verfügbar unter <https://www.smithsdetection.com/products/hi-scan-6040-ctix/>.
- ^[42] Smiths Detection Group Ltd (2021): HI-SCAN 7555aTiX. Online verfügbar unter <https://www.smithsdetection.com/products/hi-scan-7555atix/>, zuletzt geprüft am 15.03.2024.
- ^[43] EUROPEAN CIVIL AVIATION CONFERENCE (2023): ECAC CEP public equipment list – Explosive Detection Systems for Cabin Baggage (EDSCB). Online verfügbar unter https://www.ecac-ceac.org/images/activities/security/ECAC-CEP_Explosive_Detection_Systems_for_Cabin_Baggage_20231018.pdf, zuletzt geprüft am 15.03.2024.
- ^[44] EUROPEAN CIVIL AVIATION CONFERENCE (2023): ECAC CEP public equipment list – Security scanners (SSc). Online verfügbar unter https://www.ecac-ceac.org/images/activities/security/ECAC-CEP-SSc-Public_equipment_list_update_20230818-rev1.pdf, zuletzt geprüft am 15.03.2024.
- ^[45] EUROPEAN CIVIL AVIATION CONFERENCE (2022): ECAC CEP equipment list – walk-through metal detection (WTMD) equipment. Online verfügbar unter https://www.ecac-ceac.org/images/activities/security/ECAC-CEP_Walk-Through_Metal_Detection_20221209.pdf, zuletzt geprüft am 15.03.2024.
- ^[46] Bundespolizei (n.a.): Wer kann EasyPASS nutzen? Online verfügbar unter https://www.easypass.de/EasyPass/DE/Wer_kann_EasyPass_nutzen/wer_kann_easypass_nutzen_node.html;jsessionid=8D024927CE16F116F6CB93E62B96123A.1_cid388, zuletzt geprüft am 15.03.2024.
- ^[47] Beumer Group (n.a.): Artificial intelligence, data analytics and biometrics are changing baggage handling. Travellers demand a smooth experience in today's hyper-connected environment. From booking and check-in to arrival, they want to know every journey detail, including up-to-the-minute baggage information. Online verfügbar unter <https://www.beumergroup.com/knowledge/airport/artificial-intelligence-data-analytics-and-biometrics-are-changing-baggage-handling/>, zuletzt geprüft am 15.03.2024.
- ^[48] <https://www.youtube.com/watch?v=Gnk-ipOqjCI>

Quellen 5 von 5



- ^[49] Siemens (2022): Siemens Logistics präsentiert neue Lösung zur automatisierten ULD-Entleerung an Flughäfen. Online verfügbar unter <https://www.siemens-logistics.com/de/news/pressemitteilungen/siemens-logistics-praesentiert-neue-loesung-zur-automatisierten-uld-entleerung-an-flughaefen>, zuletzt geprüft am 15.03.2024.
- ^[50] <https://www.youtube.com/watch?v=W41pUwqOp7g>
- ^[51] <https://www.smithsdetection.com/insights/checkpoint-ct-scanners-pave-the-way-for-the-contactless-checkpoint/>
- ^[52] https://webarchiv.bundestag.de/archive/2008/0506/wissen/analysen/2004/2004_04_06.pdf