



Studienarbeit

Stakeholder-Kostenanalyse an Flughäfen bei Einführung neuer Luftfahrzeugantriebe

Henrieta Bohdanova

Geboren am: 28.06.1998 in Kyiv

10.12.2024

Gutachter

Prof. Dr.-Ing. habil. Hartmut Fricke

Betreuer

Dipl.-Ing. Edgar Böttcher

Henrieta
Bohdanova

Thesen zur Arbeit

1. These 1: Betriebskosten
2. These 2: Die Verteilung alternativen Antrieben einer Flotte kann einen großen Einfluss auf die Infrastrukturkosten eines Flughafens haben.
3. These 3: Die Infrastrukturkosten eines Flughafenbetreibers bleiben über die Jahre konstant, da die einmaligen Investitionen über die Abschreibungsdauer verteilt werden, jedoch keine signifikanten Schwankungen in den Betriebskosten auftreten.
4. These 4: Die Infrastrukturkosten sind schwer vorherzusagen, da unerwartete Reparaturen
5. Am Ende der Abschreibungsperiode müssen erhebliche Investitionen getätigt werden, um die Infrastruktur zu erneuern, was zu einem sprunghaften Anstieg der Infrastrukturkosten nach der Abschreibung führt.
6. These 5: Obwohl bestimmte Szenarien höhere Anschaffungskosten aufweisen, wird der finanzielle Effekt dieser höheren Investitionen durch die längere Abschreibungsdauer relativiert, sodass die jährlichen Belastungen vergleichbar oder sogar geringer bleiben.
7. These 6: Die Abschreibungsmethode bewirkt, dass trotz hoher Investitionskosten die jährlichen Kosten belastbarer und niedriger sind, während bei geringeren Anschaffungskosten eine ineffiziente Kostenverteilung zu höheren jährlichen Belastungen führen kann.

1 Abkürzungen, Einheiten und Symbole

Abkürzungen

CORSIA	Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation
DOC	Direct Operating Costs
EU	Europäische Union
IOC	Indirect Operating Costs
TOC	Total Operating Costs
ETS	Total Operating Costs
ICAO	Total Operating Costs
IATA	Total Operating Costs
SAF	Sustainable Aviation Fuel
HEFA	Hydroprocessed Esters and Fatty Acids
BA	Batterie-Antrieb

Einheiten

<i>bar</i>	Bar
<i>km</i>	Kilometer
<i>EUR</i>	Euro
<i>USD</i>	Euro
<i>m³</i>	Kubikmeter
<i>t</i>	Tonnen
<i>kg</i>	Kilogramm

Symbole

<i>CO₂</i>	Kohlenstoffdioxid
<i>LH₂</i>	flüssiger Wasserstoff
<i>O₂</i>	Ozon

2 Relevante Grundlagen und Überblick über alternative Antriebe

Für die Analyse der Forschungsfrage es ist wichtig die zentralen theoretischen Begriffe zu definieren. Das Kapitel 2.2 stellt die Grundlagen der Flugzeugabfertigung und die beteiligten Stakeholder am Flughafen dar. Zunächst beschäftigt sich das Kapitel ?? mit den bedeutenden Informationen zu Kosten am Flughafen und Emissions-Regulierungsinitiativen. Anschließend werden im Teil ?? die neuartigen alternativen Antriebe und dadurch betriebene Konzepte und Flugzeugmodelle vorgestellt.

2.1 Stakeholder am Flughafen

Am Flughafen ist eine Vielzahl an Stakeholdern beschäftigt, die miteinander agieren. Durch die neuen Luftfahrzeugantriebe steht diesen Akteuren eine schwierige Aufgabe vor.

Flughafen

Einer der Stakeholder am Flughafen ist der Flughafenbetreiber selbst. Der Flughafen stellt der Fluggerät- und Passagierabfertigung Infrastruktur wie bspw. Terminals oder Start- und Landebahnen zur Verfügung (das gilt als Kernfunktion), wofür Nutzungsgebühren erhoben werden [1].

Zum Flughafen gehören außer Start- und Landebahnen unter anderem Rollwege, Vorfeld, Flugsteige, sowie die Infrastruktur für die Gepäckabfertigung.

Darüber hinaus stellen Flughäfen eine intermodale Verknüpfung dar [1]. Direkte Nutzer von Flughäfen sind die Im- und Exporteure von Dienstleistungen und Waren [2].

Flughäfen sind ein großer Teil der regionalen Wirtschaft [2] und sorgen für eine Vielzahl an Arbeitsstellen. Dennoch verursachen sie ein Ausmaß an Lärm und Umweltbelastungen, die durch die Emissionen der Flugzeuge entstehen. Demnach verlangt der Flughafen hierfür ebenfalls Entgelte.

Für die Entwicklung der Infrastruktur und Begleichung der Betriebskosten müssen Flughäfen manchmal finanzielle Unterstützung aus anderen Quellen, wie staatlicher Finanzierung, in Anspruch nehmen [2].

Die Europäische Kommission besagt, dass Flughäfen mit einem Passagieraufkommen von über 3 Millionen Menschen p.a. in der Lage sind, ihre Betriebskosten selbst durch Gewinn zu decken.

Eine Kategorisierung der Flughäfen basiert immer auf der Passagiermenge. Aufgrund dieser Kategorisierung für das Jahr 2023 gab es in Deutschland sieben große Gemeinschaftsflughäfen, einschließlich 2 Hubs, und 16 Regionalflughäfen (kleine und große).¹

Der Europäischen Kommission nach werden die Flughäfen nach jährlichem Passagieraufkommen folgend unterteilt:

- große Gemeinschaftsflughäfen > 10 Mio. Passagieren;
- nationale Flüge mit 5 bis 10 Mio. Passagieren;
- große Regionalflughäfen mit 1 bis 5 Mio. Passagieren;
- kleine Regionalflughäfen < 1 Mio. Passagieren.

„große Gemeinschaftsflughäfen“ mit über 10 Mio. Passagieren jährlich;

Fluggesellschaft

Fluggesellschaften sind Dienstleister, welche die Infrastruktur eines Flughafens

¹Die Daten stammen aus dem Statistischem Bericht, Luftverkehr auf Hauptverkehrsflughäfen 2023

für die Abfertigung von Passagieren und Fracht nutzen. Sie sind gewinnorientiert und haben das Ziel wettbewerbsfähig zu bleiben. Für eine Fluggesellschaft ist von Relevanz, wie hoch die Betriebskosten (Erträge) sind, die der Flughafen verlangt [2]. Die Erträge unterscheiden sich in Flughafengröße und Flugzeugtyp.

Fluggesellschaften und Treibstoff-Firmen sind für die sichere Betankung verantwortlich. Quelle: Annex 14 (Doc 9137 Teil 8)

Bodenverkehrsdienste

Bodenverkehrsdienste sind für die Abfertigung der Flugzeuge auf dem Boden zuständig. Nach Conrady [1] gehört zu ihren Tätigkeiten außerdem: die Fluggastabfertigung, administrative Abfertigung sowie Transportdienste. Sie sind auf Infrastruktureinrichtungen wie Gepäckförderanlagen und Betankungsanlagen angewiesen. Die Abfertigung kann entweder von einer Fluggesellschaft, einem Flughafen oder einem unabhängigen Dienstleister durchgeführt werden. Meistens werden die Bodenverkehrsdienste in Deutschland von den Flughäfen übernommen.

Bodenverkehrsdienste sind auch für den Transport von Fracht, Post und Gepäck bis zum Flugzeug zuständig [3].

OPS 1.1150 "Handling agent. An agency which performs on behalf of the operator some or all of the latter's functions including receiving, loading, unloading, transferring or other processing of passengers or cargo;"

Zu den Systempartnern am Flughafen zählen ebenfalls Luftfahrzeughersteller, Flugsicherungen, Reiseveranstalter, staatliche Institutionen [4], sowie Beteiligte wie Passagiere, Arbeitskräfte und Passagierdienstleister. Sie nehmen nicht direkt an der Flugzeugabfertigung bzw. an Betrieb am Vorfeld teil, deswegen werden sie nicht weiter betrachtet. Analog hierzu wird die Flugsicherung aufgrund unveränderter Umstände durch alternative Antriebe nicht betrachtet. Die Arbeit wird sich auf die Betriebskosten einer Fluggesellschaft und Infrastrukturkosten des Flughafens fokussieren.

Vorfelddienste

Betankungsdienste führen nicht nur die Be- und Entladung und Lagerung durch, sondern auch für andere Flüssigkeiten (wie z.B. Öl) zuständig. Wartungsdienste führen

die routinemäßige Kontrolle den Flugzeugen vor den Flügen (line Maintenance). Die Reinigungsdienste und der Flugzeugservice sind Reinigung von Innen und Außen eines Flugzeugs verantwortlich, Wasserservice, Klimaanlage in der Kabine und Enteisung.

Auf die Kosten eingehen: Laut OPS 1.175 Anzahl der benötigten Bodenmitarbeiter ist von dem Maßstab der Operationen am Flughafen anhängig.

Gute Zusammenarbeit der Akteure/Stakeholder fördert die Pünktlichkeit der Abfertigung und hilft die Verspätungen zu vermeiden [5].

„Betriebskosten“: die mit der Erbringung von Flughafendienstleistungen verbundenen Kosten eines Flughafens; dazu gehören Kostenkategorien wie Personalkosten, Kosten für fremdvergebene Dienstleistungen, Kommunikation, Abfallentsorgung, Energie, Instandhaltung, Mieten und Verwaltung, jedoch weder Kapitalkosten, Marketingunterstützung bzw. andere Anreize, die der Flughafen den Luftverkehrsgesellschaften bietet, noch Kosten für Aufgaben mit hoheitlichem Bezug;

2.2 Bodenabfertigungen eines Luftfahrzeugs

Für die Veranschaulichung welche Änderungen an der Infrastruktur der Flughafen durch neuartigen Antrieben vorgenommen werden müssen, es ist notwendig wichtige Begriffe einer Abfertigung des konventionellen Flugzeugs zu hervorheben (definieren). Unter konventionellen Luftfahrzeugen sind die zu verstehen, die mit fossilen Treibstoffen, wie Kerosin, betrieben werden. Der Fokus wird auf die gewerblichen Passagier-Flugzeuge gelegt, weil die Abfertigung den Passagieren besonders strengere Sicherheitsmaßnahmen erfordert.

Blockzeit setzt sich zusammen aus der Zeit vom Beginn der Bewegung von Parkposition bis Ende der Bewegung am Parkposition, einschließlich der Flugzeit.

Am Parkposition der Flughafen werden Triebwerke ausgeschaltet und der Ablauf eines Turn Around beginnt. Mensen [3] definiert die Turn Around, wie die Abfertigung der Flüge, die zeitnah zusammen liegen. Bei einem Turn Around wird das Luftfahrzeug durch viele Akteure am Flughafen, wie Flugplatzbetreiber, Fluggesellschaft

und die Dritte, für nächsten Flug vorbereitet [3]. Es muss ausgeladen, kontrolliert, gereinigt, anschließend versorgt und für den nächsten Flug beladen werden.

Die Abbildung 2.1 stellt die Abfertigung einer Maschine dar. ICAO Doc 9157: Abfertigung eines Passagierflugzeugs besteht aus Passagier-, Gepäck- und Frachtabfertigung, Sanitärservice, Wasserbetankung, Gepäckabfertigung, Betankung, Stromversorgung, Startluft?, Schleppen von Flugzeugen, Bordküchenservice, Bereitstellung von Klimaanlage und Sauerstoff, Wartungsservice. Wie ist in der Abbildung zu sehen ist.

Das Flugzeug wird an Hilfstriebwerk (auxiliary power unit - APU) angeschlossen [3]. APU liefert Strom, wenn die Haupttriebwerke nicht laufen (quelle: [Annex 14. Doc 9137 Part 8]). Parallel werden Fracht und sonstige Gepäckeinheiten mit dem Hubwagen abgeladen und mit Transporthängern zur Sortieranlage im Terminal gebracht [3]. Im Falle Parkposition direkt am Flughafen können Passagiere direkt über Treppe oder ... zum Terminalgebäude gelangen. Wenn Parkposition am Vorfeld liegt, muss auf einen Bus gegriffen werden.

Laut EU-OPS 1.305 darf aus Sicherheitsgründen das Luftfahrzeug erst betankt werden, wenn die Passagiere sich nicht am Bord befinden. Je nach Flugzeuggröße dauert die Abfertigung unterschiedlich lang. Bei einem kleineren Flugzeug ist die Dauer kürzer als bei einer größeren Maschine.

Je nach Flugdistanz und nach Flugzeuggröße kann es zu unterschiedlichen Abfertigungszeiten kommen (Quelle) In Bezug auf Transportdistanz unterscheidet man nach Kurz- (ca.2 Stunden oder bis 1000 km) und Mittelstreckenflüge (bis 3,5 Stunden oder bis 3000 km), Langstreckenflüge (ab 3,5 Stunden und ab 3000 km) [3]. Der Flughafen Frankfurt definiert jedoch die Transportdistanz anders, dieser Werte werden auch im Kapitel 2.3 benutzt.

2.3 Betriebsszenarien

Betriebsszenarien helfen die vorher beschriebene Betrieb- und Infrastrukturkosten in Anwendung zu bringen und zeigen eine mögliche Entwicklung im Jahr 2050. Für

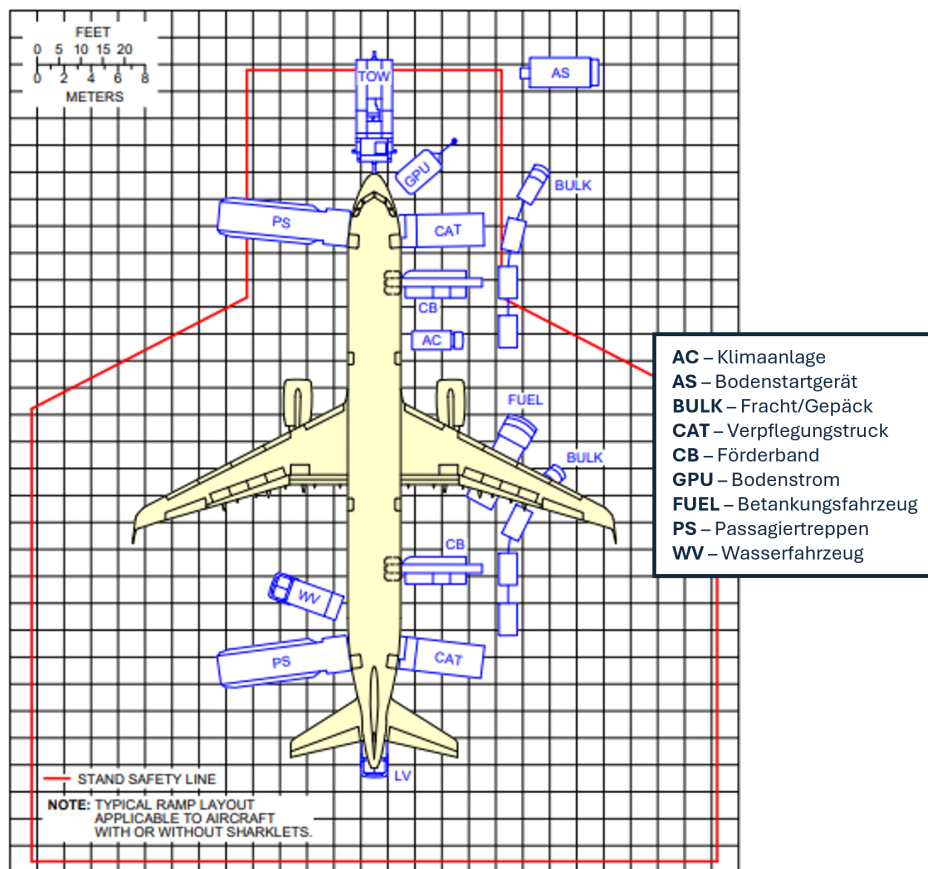


Abbildung 2.1: Abfertigung eines A321 [6] mit zusätzlichen Hinweisen

die Betriebsszenarien wurde der Flughafen Frankfurt gewählt. Das ist der größte Verkehrsflughafen Deutschlands und fungiert als bedeutendes Luftverkehrsdrehkreuz. Bei einem größeren Flughafen werden die Betriebsdifferenzen deutlicher, da das Verkehrsaufkommen wesentlich höher ist. Der Fraport meldete im Jahr 2023 insgesamt 423764 gewerbliche Flugbewegungen, was im Durchschnitt 1160 Flugbewegungen pro Tag ausmacht. Es wird angenommen, dass die Hälfte davon Abflüge sind, also müssen 580 Flugzeuge am Tag abgefertigt werden.

Die Gesamtbewegungen teilen sich nach Entfernungen folgend auf:

- Kurzstrecken (bis 2500 km) sind bei 72,8 %;
- Mittelstrecken (bis 6000 km) sind 9,3 %;
- Langstrecken (ab 6000 km) die restlichen 17,9 %.

Anhand dessen wird eine Flotte mit 580 Flugzeugen aufgestellt, wo die alternativen Antriebe im Einsatz sind. Aufgrund der Flugeinschränkungen in der Nacht wird es

angenommen, dass die Flüge von 6 bis 24 Uhr gleichmäßig stattfinden. Das entspricht 18 Betriebsstunden. Wie bereits diskutiert wurde, können Kurzstrecken-Flüge durch den Einsatz von batteriebetriebenen Flugzeugen ersetzt werden. Es ist nennenswert, dass nur Teil der tatsächlichen Nachfrage des Kurzstrecken-Bedarfs dadurch gedeckt werden kann. In Betrachtung des tatsächlichen Flugplans sind die Spitzenstunden im Laufe des Tages zu finden, wo der Verkehrsfluss stärker als im Durchschnitt ist. In diesem Fall werden höhere Infrastruktur- und Betriebskosten zu erwarten. Indessen um die Interpretation zu erleichtern, wird in dieser Arbeit angenommen, dass stündlich die gleiche Anzahl an Flugzeugen am Flughafen abgewickelt werden.

Für die Kurzstrecken wird zwischen Batterie-Antrieb und SAF unterschieden, die Mittel- und Langstrecken werden durch Flugzeuge mit Wasserstoffturbine und SAF versorgt/erfüllt.

2.3.1 Betriebsszenario I

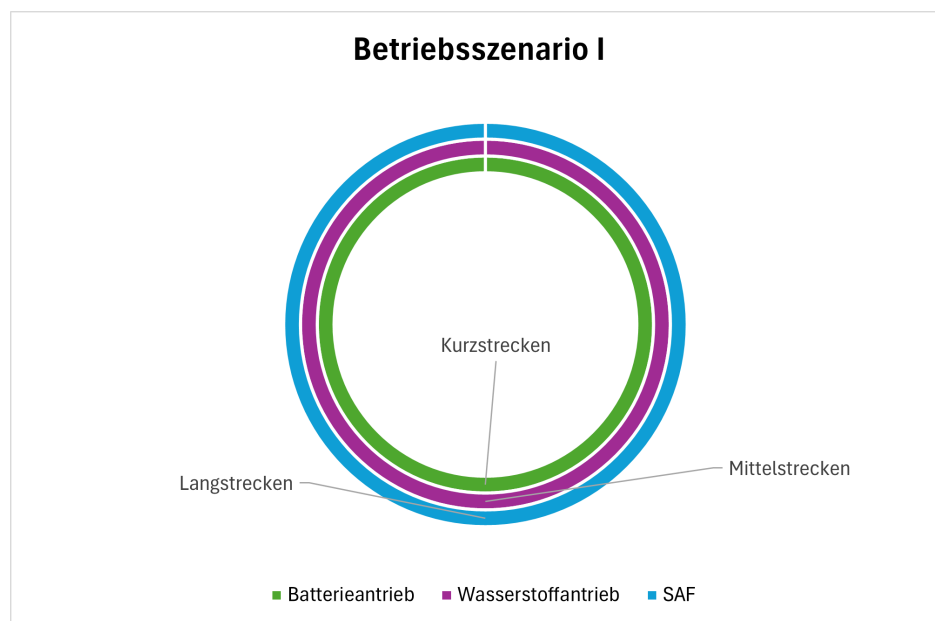


Abbildung 2.2: Aufteilung der Flugzeugflotte nach Antriebsart

In dem ersten Betriebsszenario wird angenommen, dass die Kurzstrecken durch die BA komplett ersetzt werden. Die Mittelstrecken werden vollkommen durch WA und die Langstrecken durch die SAF bedient.

2.3.2 Betriebsszenario II

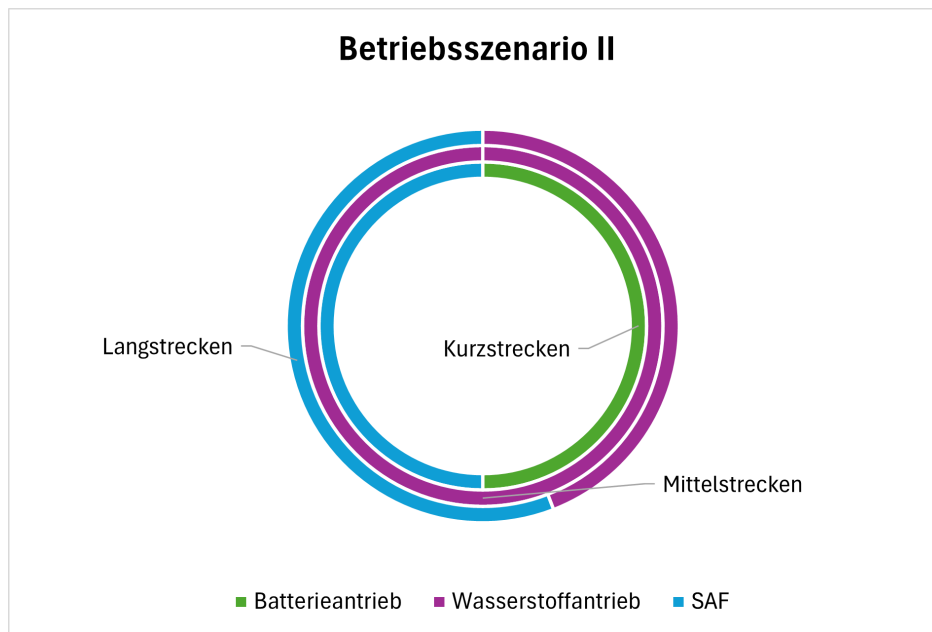


Abbildung 2.3: Aufteilung der Flugzeugflotte nach Antriebsart

Das zweite Betriebsszenario wird mit folgender Aufteilung berechnet. Die Hälfte der Kurzstrecken wird durch BA versorgt und die andere Hälfte durch SAF; die Mittelstrecken werden genauso, wie im ersten Szenario komplett durch die Wasserstoffflugzeuge bedient und bei Langstrecken sind 10 % SAF und den restlichen Anteil Wasserstoff.

2.3.3 Betriebsszenario III

50 % der Kurzstrecken sind von Batterie-Antrieb, die restlichen 22,8 % sind mit SAF betrieben. Mittelstrecken: die Hälfte der Mittelstrecken sind mit WA und die andere Hälfte mit SAF Langstrecken: die Hälfte der Mittelstrecken sind mit WA und die andere Hälfte mit SAF

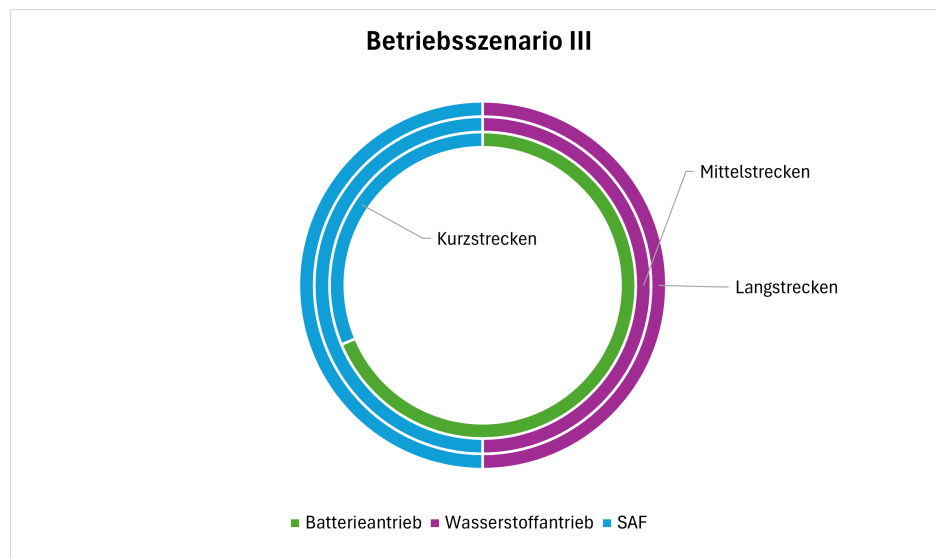


Abbildung 2.4: Aufteilung der Flugzeugflotte nach Antriebsart

3 Auswertung den Ergebnissen

Anhand vorgeschlagene in dem Teil ?? Methodik wurde den Vergleich zwischen Referenz-Flugzeugen und alternativen Antrieben geschaffen. Außerdem werden aufgestellte Betriebsszenarien ausgewertet und schließlich diskutiert.

3.1 Ergebnisse des Gegenüberstellens von Referenzflugzeugen und neuartigen Antriebsansätzen

3.1.1 Vergleich des Batterie-Antriebs und SAFs mit einem Referenzflugzeug für eine Kurzstrecke

In der Abbildung 3.1 sind die Ergebnisse für batteriebetriebenes ES-19 und konventionelles L410 dargestellt. Die Werte wurden für 400 Kilometer Flug bestimmt. Die Gesamtbetriebskosten des ES-19 sind ca. 22 % höher des konventionellen L410. Entgelte und Gebühren bewirken den größten Teil der Betriebskosten beider Flugzeugen. Kapitalbezogene Kosten bei BA sind 36 % höher. Der Anteil der Treibstoff- bzw. Energiekosten ist am niedrigsten im Vergleich zu anderen Kosten und mit einem Trend, dass die Treibstoffkosten sind bei konventionellem Flugzeug 30 % höher.

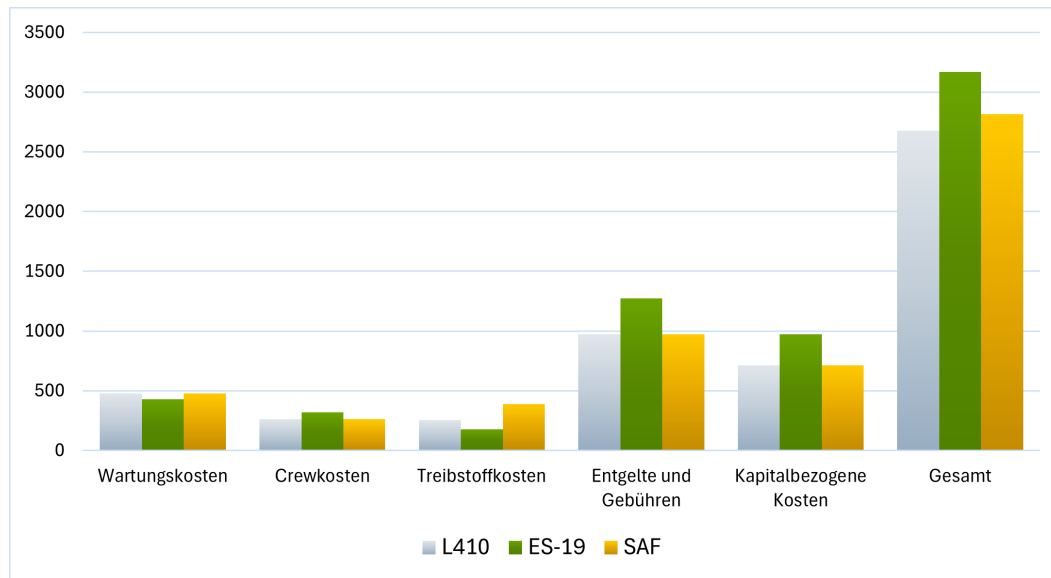


Abbildung 3.1: Vergleich der Referenz und Flugzeug mit der Batterie-Antrieb

3.1.2 Vergleich des Wasserstoffantriebs und SAFs mit einem Referenzflugzeug für eine Mittelstrecke

In der vorgeschlagene Vorgehensweise wurde den Vergleich zwischen den herkömmlichen Treibstoffen und durch Wasserstoffturbine betriebenen Flugzeug, als auch mit SAF für 6000 Kilometer-Flug geschaffen.

3.2 Ergebnisse der Betriebsszenarien

In diesem Teil werden die Auswertung der aufgestellten im Kapitel 2.3 ausgewertet und miteinander verglichen.

Betriebskosten wurden folgend verteilt:

Nennenswert ist das in der Berechnung von allen Betriebsszenarien sind erstmal nur einmalige Infrastrukturausgaben ohne jährliche Abschreibungen ausgerechnet. In der Tabelle ?? sind die benötigten Werte für jedes Szenario dargestellt.

Tabelle 3.1: Infrastrukturwerte für alle Szenarien

	Szenario I	Szenario II	Szenario III
Anzahl Ladestationen n_{BSS}	20	10	14
Anzahl Batterien n_{Bat}	101	51	70
Anzahl Betankungswagen n_{BW}	4	7	5
Anzahl Pumpen n_{kP}	5	8	6

Das erste Szenario hat die kleinsten Ausgaben, wobei das Szenario Nummer zwei die größte. Szenario zwei ist 27 % höher als das erste. Die Gesamtkosten für das zweite Szenario liegen über 35 Tausend Euro.

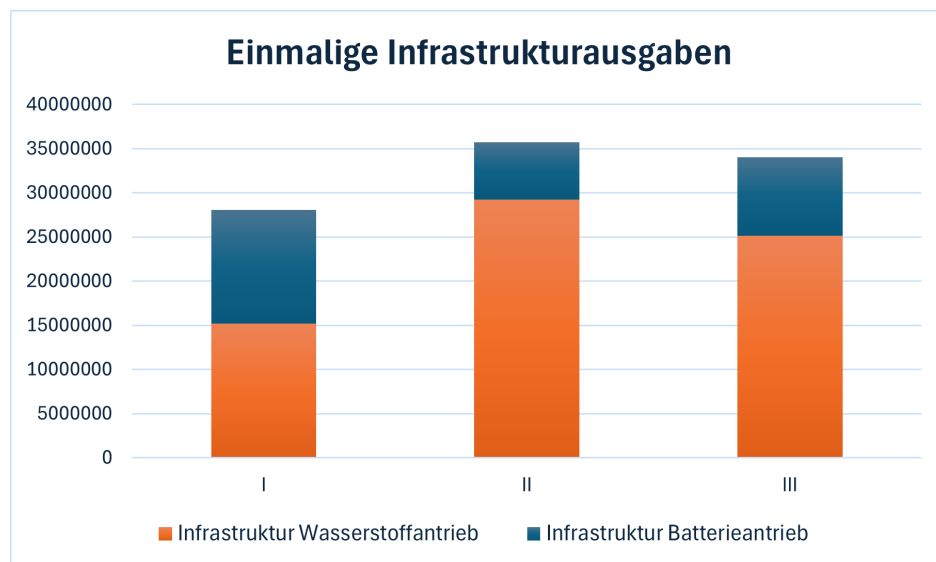


Abbildung 3.2: Vergleich der einmaligen Infrastrukturausgaben zwischen den Betriebsszenarien

Literatur

- [1] R. Conrady, F. Fichert und R. Sterzenbach. *Luftverkehr: Betriebswirtschaftliches Lehr- und Handbuch*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2019.
- [2] D. Schaar und L. Sherry. „Analysis of airport stakeholders“. In: *2010 Integrated Communications, Navigation, and Surveillance Conference Proceedings*. IEEE. 2010, J4–1.
- [3] H. Mensen. *Handbuch der Luftfahrt*. Springer-Verlag, 2013.
- [4] S. Maertens und K. Fromen. „Neue EASA-Anforderungen an Bodenverkehrsdienstleister– Chancen und Risiken für die Systempartner im Luftverkehr“. In: *Die Verwaltung* 4 (2023), S. 517–537.
- [5] M. Schmidt u. a. „Challenges for ground operations arising from aircraft concepts using alternative energy“. In: *Journal of Air Transport Management* 56 (2016), S. 107–117.
- [6] Airbus. *Airbus A321 Aircraft Characteristics: Airport and Maintenance Planning*. Revision 1. Original Issue: September 30, 1992. März 2022.
- [7] Die Bundesregierung. *Klimaziel: Deutschland reduziert Emissionen um 37 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente*. Zugriff am 20. November, 2024. Apr. 2024. URL: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/treibhausgasbilanz-2023-2265440>.
- [8] L. Martinez-Valencia, M. Garcia-Perez und M. P. Wolcott. „Supply chain configuration of sustainable aviation fuel: Review, challenges, and pathways for including environmental and social benefits“. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 152 (2021), S. 111680.

- [9] C. Sky u. a. „Hydrogen-powered aviation: a fact-based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050“. In: (2020).
- [10] M. A. Camilleri und M. A. Camilleri. *Aircraft operating costs and profitability*. Springer, 2018.
- [11] J. Wang. „Research on civil aircraft direct maintenance cost analysis and optimization based on data mining“. In: *Journal of Physics: Conference Series*. Bd. 1992. 4. IOP Publishing. 2021.
- [12] Umweltbundesamt. *Aviation in the EU ETS and CORSIA in the Fit for 55 package – Factsheet*. Zugriff am 23. Dezember 2024. Sep. 2023.
- [13] P. J. Ansell. „Review of sustainable energy carriers for aviation: Benefits, challenges, and future viability“. In: *Progress in Aerospace Sciences* 141 (2023), S. 100919.
- [14] International Air Transport Association (IATA). *IATA SAF Handbook*. Zugriff am 27. Dezember 2024. 2024.
- [15] Virgin Atlantic. *Virgin Atlantic operates world's first 100% SAF transatlantic flight*. Zugriff am 27. Dezember 2024. 2023. URL: <https://corporate.virginatlantic.com/gb/en/media/press-releases/worlds-first-sustainable-aviation-fuel-flight.html>.
- [16] International Civil Aviation Organization (ICAO). *Sustainable Aviation Fuel (SAF) Conversion Processes*. Zugriff am 28. Dezember 2024. 2024. URL: <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Conversion-processes.aspx>.
- [17] International Air Transport Association (IATA). *SAF Procurement: Pricing Options for Different Strategies*. Zugriff am 28. Dezember 2024. 2024.
- [18] S. De Jong u. a. „Life-cycle analysis of greenhouse gas emissions from renewable jet fuel production“. In: *Biotechnology for biofuels* 10 (2017), S. 1–18.
- [19] J.-B. Jarin u. a. „Emissions Comparison of 100% SAF With Bio-Aromatics and Conventional (Fossil) Jet Fuel“. In: *Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air*. Bd. 87936. American Society of Mechanical Engineers. 2024, V002T03A012.
- [20] M. Watson u. a. „Sustainable aviation fuel technologies, costs, emissions, policies, and markets: a critical review“. In: *Journal of Cleaner Production* 449 (2024).

-
- [21] A. Bauen u. a. „Sustainable Aviation Fuels: Status, challenges and prospects of drop-in liquid fuels, hydrogen and electrification in aviation“. In: *Johnson Matthey Technology Review* 64.3 (2020), S. 263–278.
- [22] K. Dahal u. a. „Techno-economic review of alternative fuels and propulsion systems for the aviation sector“. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 151 (2021), S. 111564.
- [23] F. Salucci u. a. „Optimal recharging infrastructure sizing and operations for a regional airport“. In: *1st Aerospace Europe Conference (AEC 2020)*. 2020, S. 1–8.
- [24] I. Abrantes u. a. „The impact of revolutionary aircraft designs on global aviation emissions“. In: *Renewable Energy* 223 (2024), S. 119937.
- [25] S. Donckers, K. Stamoulis und A. Apostolidis. „Electric flight operations for interisland mobility“. In: *Journal of Physics: Conference Series*. Bd. 2716. 1. IOP Publishing. 2024, S. 012009.
- [26] M. A. Anker, C. Hartmann und J. K. Nøland. „Feasibility of Battery-Powered Propulsion Systems for All-Electric Short-Haul Commuter Aircraft“. In: *Authorea Preprints* (2023).
- [27] M. Hepperle. „Electric flight-potential and limitations“. In: (2012).
- [28] S. Shahid und M. Agelin-Chaab. „A review of thermal runaway prevention and mitigation strategies for lithium-ion batteries“. In: *Energy Conversion and Management: X* 16 (2022), S. 100310.
- [29] T. Dalmia u. a. „Powering the Future of Electric Aviation“. In: (2022).
- [30] M. Mulder, P. L. Perey und J. L. Moraga. „Outlook for a Dutch hydrogen market: economic conditions and scenarios“. In: (2019).
- [31] C. O. Colpan und A. Kovač. *Fuel Cell and Hydrogen Technologies in Aviation*. Springer, 2022.
- [32] Embraer S.A. *Embraer presents the Energia Family – Four New Aircraft Concepts Using Renewable Energy Propulsion Technologies*. Zugriff am 03. Januar 2025. 2021.
- [33] Wright Electric. *Wright Electric - Ultra-Lightweight Motors, Generators, and Batteries for Aerospace and Defense*. Zugriff am 9. Februar, 2025. 2025. URL: <https://www.weflywright.com/>.

- [34] K. Goodge und P. Withey. „An Analysis of Direct Operating Costs for the Wright Spirit Electric Aircraft“. In: *Aerospace* 11.12 (2024), S. 1007.
- [35] D. Scholz. *Aircraft Design / DOC*. Lecture Notes, Hamburg University of Applied Sciences (HAW Hamburg). Zugriff am 5. Januar, 2025. 2015.
- [36] P. B. Wangsness u. a. „Fremskyndet innfasing av elfly i Norge: mulige“. In: *Environmental and Resource Economics* 37.1 (2021), S. 181–210.
- [37] R. H. Liebeck u. a. *Advanced subsonic airplane design and economic studies*. Techn. Ber. 1995.
- [38] D. F. GmbH. *Flugsicherungsgebühren*. Zugriff am 11. Januar 2025.
- [39] International Energy Agency (IEA). *Fossil jet and biojet fuel production cost ranges (2010-2030)*. Zugriff am 03. Januar 2025. 2021.
- [40] International Air Transport Association (IATA). *Industry Statistics*. Report. Updated: June 2024. Juni 2024.
- [41] European Central Bank (ECB). *Euro Reference Exchange Rate: USD*. Online Resource. Zugriff am 14. Januar 2025.
- [42] Airbus. *Airbus unveils Zero-Emission Aircraft (ZEA) concepts*. Online PDF. Zugriff am 16. Januar, 2025. 2020.
- [43] European Union Aviation Safety Agency (EASA). *Type-Certificate Data Sheet: PT6A-67 Series Engines*. Techn. Ber. EASA.IM.E.008. Issue 06. European Union Aviation Safety Agency (EASA), Feb. 2022.
- [44] Fraport AG. *Flughafenentgelte nach § 19b LuftVG: Entgelte für Zentrale Bodenverkehrsinfrastruktureinrichtungen (gültig ab 01. Januar 2025)*. Zugriff am 17. Januar 2025. Jan. 2025.
- [45] Eurostat. *Energy Prices: Household and Industrial Consumers*. Zugriff am 20. Januar, 2025. 2025. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_pc_205/default/table?lang=en.
- [46] N. Avogadro und R. Redondi. „Demystifying electric aircraft’s role in aviation decarbonization: Are first-generation electric aircraft cost-effective?“ In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 130 (2024), S. 104191.
- [47] LET Aircraft Industries. *L410 NG*. Archivierte Version vom 18. August 2021, Zugriff am [09. Januar, 2025]. 2021. URL: <https://web.archive.org/web/20210818120608/http://www.let.cz/en/l410ng>.

-
- [48] Heart Aerospace. *Heart Aerospace partners with Aernnova to design and develop the structure for the ES-19 electric airplane*. Zugriff am 20. Januar, 2025. 2021. URL: <https://heartaerospace.com/newsroom/heart-aerospace-partners-with-aernnova-to-design-and-develop-the-structure-for-the-es-19-electric-airplane/>.
- [49] Discover Airlines. *Karriere als Cabin Crew – Bewerbungsbedingungen*. Zugriff am 29. Januar, 2025. 2025. URL: https://www.discover-airlines.com/de/de/about-us/career/cabin#terms_conditions.
- [50] Airbus. *A321neo*. Zugriff am 03. Februar, 2025. URL: <https://aircraft.airbus.com/en/aircraft/a320-family/a321neo>.
- [51] D. Fonseca. *Direct Operating Costs, Fuel Consumption, and Cabin Layout of the Airbus A321LR*. Zugriff am 03. Februar, 2025. Feb. 2022.
- [52] LET Aircraft Industries. *L 410 UVP-E20 Brochure*. Zugriff am 2. Februar, 2025. 2016.
- [53] AeroTELEGRAPH. *Die Listenpreise 2018 von Airbus*. Zugriff am 14. Januar, 2025. 2018. URL: <https://www.aerotelegraph.com/die-listenpreise-2018-von-airbus>.
- [54] Y. Gu u. a. „Hydrogen-Powered Aircraft at Airports: A Review of the Infrastructure Requirements and Planning Challenges“. In: *Sustainability* 15.21 (2023), S. 15539.
- [55] Aerospace Technology Institute (ATI). *Airports, Airlines, Airspace Operations and Hydrogen Infrastructure*. Techn. Ber. Zugriff am 16. Januar, 2025. Aerospace Technology Institute (ATI), März 2022.
- [56] C. H. J. Undertaking. „Strategic research and innovation agenda 2021–2027“. In: *Agenda 2021* (2022), S. 179.
- [57] F. Schenke u. a. „LH2 supply for the initial development phase of H2-powered aviation“. In: *Energy Conversion and Management: X* 24 (2024).
- [58] J. Hoelzen u. a. „H2-powered aviation–Design and economics of green LH2 supply for airports“. In: *Energy Conversion and Management: X* 20 (2023).
- [59] J. E. Fesmire und A. Swanger. *New LH2 Sphere Presentation*. Presentation at DOE/NASA Advances in Liquid Hydrogen Storage Workshop. Zugriff am 16. Januar, 2025. Aug. 2021.

- [60] J. Hoelzen u. a. „H2-powered aviation at airports–Design and economics of LH2 refueling systems“. In: *Energy Conversion and Management: X* 14 (2022).
- [61] Z. Guo u. a. „Aviation to grid: Airport charging infrastructure for electric aircraft“. In: International Conference on Applied Energy. 2020.
- [62] J. O. Reimers. „Introduction of electric aviation in Norway“. In: *Green Future: Norway* (2018).
- [63] Z. Guo u. a. „Infrastructure planning for airport microgrid integrated with electric aircraft and parking lot electric vehicles“. In: *Etransportation* 17 (2023), S. 100257.
- [64] M. Marksel und A. Prapotnik Brdnik. „Comparative Analysis of Direct Operating Costs: Conventional vs. Hydrogen Fuel Cell 19-Seat Aircraft“. In: *Sustainability* 15.14 (2023), S. 11271.
- [65] M. M. M. Monjon und C. M. Freire. „Conceptual design and operating costs evaluation of a 19-seat all-electric aircraft for regional aviation“. In: *2020 AIAA/IEEE Electric Aircraft Technologies Symposium (EATS)*. IEEE. 2020, S. 1–16.
- [66] N. Brüge und F. Kranich. „Wartungskosten von Passagierflugzeugen bei verschiedener Triebwerksanzahl berechnet nach DOC-Methoden“. In: (2018).