

Kurzfassung

Die Luftfahrt verbindet Menschen, Unternehmen und Kulturen miteinander und trägt zur persönlichen Mobilität der Menschen bei. Jedoch führt dies zu negativen Umweltwirkungen die durch CO₂- und Non-CO₂-Emissionen ausgelöst werden. Um die negativen Umweltwirkungen der Luftfahrt zu reduzieren, werden alternative Energiespeicher- und Antriebsformen erforscht. Neben dem Potential dieser Technologien zur Reduktion der Umweltwirkungen muss der Einsatz dieser ebenfalls, im Vergleich zu konventionellen Antriebsformen, ökonomisch konkurrenzfähig sein.

Ziel dieser Arbeit ist es die alternativen Energiespeicher- und Antriebsformen vor- und gegenüberzustellen. Hierbei werden insbesondere auf die ökologischen Auswirkungen sowie betriebswirtschaftlichen Faktoren eines Einsatzes der alternativen Energiespeicher- und Antriebsformen betrachtet. Ebenfalls wird eine Vergleichsrechnung durchgeführt um die ökologischen Auswirkungen und Kosten eines Umlaufs auf der Strecke Lübeck (LBC) – Frankfurt (FRA) (Umlauf LBC – FRA – LBC) mit alternativen Energiespeicher- und Antriebsformen zu vergleichen.

Als alternative Energiespeicher- und Antriebsformen wurden folgende Technologien aufgezeigt:

- Klassischer Antrieb mit Sustainable Aviation Fuels (SAF)
- Wasserstoffbasierter Antrieb
- Batterieelektrischer Antrieb
- Hybridantrieb

Alle diese Technologien bieten die Möglichkeit die Umweltauswirkungen zu reduzieren. Der Batterieelektrische Antrieb kann lokal sogar emissionsfrei betrieben werden. Aus ökonomischer Sicht bietet der batterieelektrische Antrieb Kosteneinsparpotentiale gegenüber dem konventionellen Antrieb. SAF und wasserstoffbasierte Antriebe können mittelfristig ebenfalls aus ökonomischer Sicht konkurrenzfähig eingesetzt werden. Hybridantriebe werden voraussichtlich teurer als herkömmliche Flugzeuge bleiben.

Insgesamt bieten die batterieelektrischen und wasserstoffbasierten Antriebe sowie Hybridantriebe ihr größtes Potential, wenn sie in kleineren Flugzeugen auf kurzen Strecken eingesetzt werden. SAF kann in jedem konventionellem Flugzeug genutzt werden und bietet somit auch eine alternative für Langstrecken. Insgesamt gilt, dass bis zur Marktreife dieser alternativen Technologien sowohl noch offene technische Fragestellungen gelöst als auch die benötigte Infrastruktur aufgebaut werden müssen.

Der Vergleich der ökologischen Auswirkungen ergibt, dass auf dem Umlauf Lübeck – Frankfurt – Lübeck der batterieelektrische und der Hybridantrieb ohne CO₂-Emissionen betrieben werden kann. Der Einsatz von Wasserstoff als Energiespeicher kann die Umweltauswirkungen um 90 % und der Einsatz von SAF um 50 % gegenüber dem konventionellen Antrieb reduzieren.

Die Kosten pro Passagierkilometer können nur bei dem Einsatz SAF konkurrenzfähig gehalten werden. Wenn die Kostenstellen Technikkosten und Kapitalkosten, die in der Vergleichsrechnung großen Unsicherheiten unterliegen, nicht berücksichtigt werden, liegt der wasserstoffbasierte Antrieb auf dem Kostenniveau des konventionellen Antriebs und der Hybridantrieb nur geringfügig drüber. Die Kosten des batterieelektrischen Antriebes sind pro Passagierkilometer am höchsten. Hierbei ist die Größe des zum Vergleich herangezogenen Flugzeuges (neun Sitzplätze im Vergleich zu > 70 Sitzplätze der anderen Vergleichsflugzeuge) zu beachten.

Abstract

Aviation connects people, companies and cultures. It also contributes to people's personal mobility. Nevertheless, this leads to negative environmental impacts caused by CO₂- and non-CO₂-emissions. In order to reduce the negative environmental impact of aviation, alternative forms of energy storage and propulsion are being researched. In addition to the potential of these technologies to reduce the environmental impact, their usage must also be cost competitive compared to conventional forms of propulsion.

The aim of this thesis is to present and compare alternative forms of energy storage and propulsion. In particular, the ecological effects and business factors of using alternative forms of energy storage and propulsion are considered. A comparative calculation is executed to compare the ecological effects and costs of a round trip on the route Lübeck (LBC) - Frankfurt (FRA) (round trip LBC - FRA - LBC) with alternative forms of energy storage and propulsion.

As alternative forms of energy storage and propulsion the following technologies were identified:

- Classic propulsion with Sustainable Aviation Fuels (SAF)
- Hydrogen-based propulsion
- Battery electric propulsion
- Hybrid propulsion

All of the above-mentioned technologies offer the possibility of reducing the environmental impact. The battery electric drive can even be operated locally with zero emissions. From a business point of view, the battery electric drive offers potential cost savings compared to the conventional drive. In the medium term SAF and hydrogen-based propulsion systems can also be used competitively from a business perspective. Hybrid propulsion systems are likely to remain more expensive than conventional aircraft.

Overall, battery electric, hydrogen-based and hybrid propulsion systems offer their greatest potential for use in smaller aircraft on short routes. SAF can be used in any conventional aircraft and therefore also offers an alternative for long-haul flights. All in all, until these alternative technologies are ready for the market, technical issues still need to be resolved and the necessary infrastructure needs to be constructed.

A comparison of the environmental impact shows that both battery electric and hybrid propulsion systems can be operated on the Lübeck - Frankfurt - Lübeck route without CO₂-emissions. The use of hydrogen as energy storage can reduce the environmental impact by 90 % and the use of SAF by 50 % compared to the conventional propulsion.

The costs per passenger kilometer can only be kept competitive if SAF is used. If the cost centers of maintenance costs and capital costs, which are subject to major uncertainties in the comparative calculation, are not taken into account, the hydrogen-based propulsion is as expensive as the conventional propulsion. The hybrid propulsion cost is only slightly higher than the cost of the conventional propulsion. The costs of the battery electric drive are the highest per passenger kilometer. Here the size of the aircraft used for comparison (nine seats compared to > 70 seats in the other aircraft used for comparison) must be taken into account here.