

Leibniz Universität Hannover
Institut für Wirtschaftsinformatik

BACHELORARBEIT

ANALYSE UND STRATEGISCHE VERORTUNG ALTERNATIVER KRAFTSTOFFE FÜR DIE LUFTFAHRT DER ZUKUNFT

Autor:

Seran Yilmaz
[REDACTED]
[REDACTED]

Studiengang:

Wirtschaftsingenieurwesen
[REDACTED]
[REDACTED]

Prüfer:

Prof. Dr. M. H. Breitner

Zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Science (B. Sc.)

11. September 2020

ANALYSE UND STRATEGISCHE VERORTUNG ALTERNATIVER
KRAFTSTOFFE FÜR DIE LUFTFAHRT DER ZUKUNFT

BACHELORARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades „Bachelor of Science (B. Sc.)“ im Studiengang
Wirtschaftsingenieur der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, Fakultät für
Maschinenbau und der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Leibniz Universität
Hannover

Name:

Yilmaz

Vorname:

Seran



Prüfer:

Prof. Dr. M. H. Breitner

Ort, den

Hannover, 11.09.2020

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
1.1 Relevanz des Themas	1
1.2 Vorstellung der Forschungsfrage	2
2 Stand der Technik in der Luftfahrt.....	4
2.1 Konventionelles Kerosin	4
2.1.1 Herstellung	4
2.1.2 Eigenschaften	7
2.1.3 Anwendung in der Luftfahrt.....	9
2.1.4 Kosten.....	10
2.2 Triebwerkstechnik.....	11
2.2.1 Verbrennungsprozess	13
2.2.2 Schub und Wirkungsgrad	14
2.2.3 Wirtschaftlichkeit	15
3 Auswirkungen auf die Umwelt	18
3.1 Treibhausgase und andere Effekte	18
3.2 Kompensation: Emissionshandel	22
3.3 Neue Antriebstechnologien: Stand der Forschung; ein kompakter Überblick.....	26
3.4 Einführung alternativer Kerosine	30
4 Alternative Kerosine in der Luftfahrt	31
4.1 Vorstellung der Analysemethodik.....	31
4.2 Verfahrensbeschreibung und Analyse verschiedener Verfahren zur Herstellung 31	
4.2.1 Power-to-Liquid	31
4.2.2 Biomass-to-Liquid.....	37
4.2.3 Sun-to-Liquid	40
4.2.4 HEFA	43
4.3 Vergleich der verschiedenen Verfahren.....	47

4.4	Zukunftsszenario: Ableitung der Ergebnisse	49
5	Strategische Einsatzgebiete in der Luftfahrt	51
5.1	Zeitliche Aufeinanderfolge	51
5.2	Strategische Flugroutenplanung.....	52
5.3	Akzeptanz alternativer Kerosine	54
5.4	Zusammenfassung.....	57
6	Diskussion.....	58
7	Fazit und Ausblick	60
	Literaturverzeichnis	62

1 Einleitung

1.1 Relevanz des Themas

Das Pariser Abkommen sieht vor, die fortwährende Erwärmung der Erde langfristig auf maximal 1,5°C zu begrenzen (vgl. BMU, 2015). 195 Staaten haben sich dazu verpflichtet, ihre wirtschaftlichen Aktivitäten auf dieses gemeinsame Klimaziel auszurichten und ständig zu kontrollieren (vgl. BMU, 2015). Der Internationalen Energieagentur (IEA) zufolge war allein die globale Luftfahrt im Jahr 2016 für 2,83% der weltweiten CO₂-Emissionen verantwortlich, die maßgeblich zur weltweiten Klimaerwärmung beitragen (vgl. Klimaschutz-Portal, o. J.).

Daher erscheint es sinnvoll, die Klimaschädlichkeit von Flugzeugen zu reduzieren. Flugzeuge verursachen in ihrer aktuellen technischen Entwicklungsstufe durch das Verbrennen von Kerosin schädliche Abgase, die den Treibhauseffekt fördern und das Klima belasten (vgl. Mensen, 2013, S. 1415–1416, 1477; vgl. Müller-Görnert, o. J.). Gleichzeitig erhöht sich jährlich das weltweite Flugaufkommen. Das wird durch Abbildung 1 veranschaulicht:

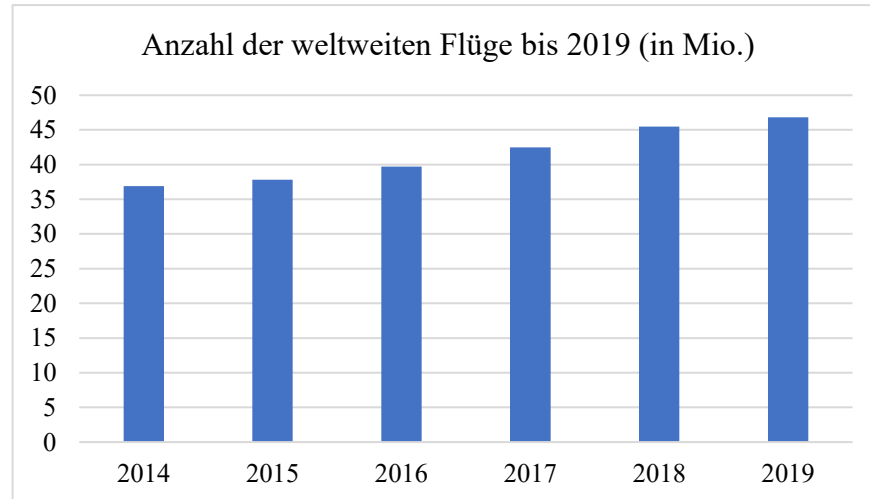


Abbildung 1: Anzahl der Flüge in der weltweiten Luftfahrt (IATA, 2019)

Abbildung 1 legt dar, dass die Bedeutung der Luftfahrt immer weiter zunimmt. Doch je mehr Flugzeuge abheben, desto mehr klimawirksame Schadstoffe werden demnach emittiert.

So hat die „*International Air Transport Association*“ (IATA), die als Dachverband der internationalen Luftfahrt dient, ein branchenspezifisches Ziel ausgesprochen, das wie das Pariser Abkommen der Erwärmung der Erde entgegenstreben soll: Eine Minderung der Treibhausgasemissionen bis 2050 um 50% (vgl. BMVI, 2016, S. 9). Doch um dieses Ziel zu

erreichen, müssen die klimaschädlichen Charakteristika von Flugzeugen sukzessive abgeschwächt werden.

Alternative Kraftstoffe sind ein mittelfristiger und im Vergleich zur Entwicklung neuer Antriebsformen und auch im Hinblick auf lange Produktlebenszyklen aktueller Flugzeuge ein vergleichsweise schnell umsetzbarer Lösungsansatz in der Luftfahrt (vgl. BMVI, 2016, S. 8).

1.2 Vorstellung der Forschungsfrage

Diese Bachelorarbeit befasst sich mit der Forschungsfrage, wie die in Kapitel 1.1 erwähnten alternativen Kraftstoffe sinnvoll in eine umweltverträgliche Luftfahrt der Zukunft integriert werden können. Dabei sollen verschiedene Verfahren zur alternativen Kerosinherstellung hinsichtlich ihrer technologischen und wirtschaftlichen Tauglichkeit für die breite Nutzung in der Luftfahrt beleuchtet und analysiert werden. In diesem Kontext werden die folgenden vier Verfahren einer genaueren kritischen Betrachtung unterzogen: *Power-to-Liquid* (PtL), *Biomass-to-Liquid* (BtL), *Sun-to-Liquid* (StL) und *Hydrotreated Esters and Fatty Acids* (HEFA). Andere Konversionstechnologien wie beispielsweise das *Alcohol-to-Jet*-Verfahren (AtL) oder das *Direct Sugar to Hydrocarbons*-Verfahren (DSHC) werden im Verlauf dieser Arbeit nicht genauer betrachtet, da in diesem Fall durch die große Anzahl verschiedener Herstellungsverfahren alternativer Kerosine der Rahmen der Analyse deutlich gesprengt werden würde.

Um die Bedeutung alternativer Kerosine für die Luftfahrt der Zukunft in ein strategisches Gesamtverhältnis zu setzen, bedarf es einer Untersuchung von gegenwärtigen Bemühungen (regulatorischer Emissionshandel und freiwillige Klimaschutzprojekte aktueller Flugbetreiber) und Zukunftsvisionen (alternative Antriebe), die sich auf ein gemeinsames Ziel konzentrieren: Das Eindämmen umweltschädlicher Emissionen von Flugzeugen.

In diesem Zusammenhang wird diese Arbeit im nächsten Kapitel den aktuellen Stand der Technik in der Luftfahrt erörtern. Speziell die Herstellung und die Eigenschaften von konventionellem Kerosin und der aktuelle Stand in der Triebwerkstechnik sollen dabei im Mittelpunkt stehen. Die sich daraus ablesbaren Auswirkungen auf die Umwelt werden im dritten Kapitel erklärt. Daraufhin wird auf aktuelle Bemühungen zur Senkung von Schadstoffemissionen eingegangen und an realen Beispielen dargelegt, wie diese Maßnahmen momentan umgesetzt werden. Für die spätere strategische Gesamteinordnung wird ebenfalls der aktuelle Stand der Forschung in der alternativen Antriebstechnik in der Luftfahrt festgestellt. Dabei wird insbesondere auf elektrische und hydrotechnologische Ansätze eingegangen.

Im Hauptteil der Arbeit werden die eingangs erwähnten Herstellungsverfahren analysiert. Dies wird mittels einer SWOT-Analyse umgesetzt. Aus dieser Analyse heraus werden die besonders vielversprechenden Verfahren gegebenenfalls extrahiert und mögliche

Zukunftsszenarien abgeleitet. Das Ende des Hauptteils befasst sich letztendlich mit der strategischen Implementierung in das Gesamtgefüge der zukünftigen Luftfahrt.

In Kapitel 6 werden die Ergebnisse der Analyse und die strategische Verortung kritisch diskutiert und mögliche Handlungsempfehlungen formuliert. Die Arbeit schließt mit den Limitationen und dem Ausblick ab.

7 Fazit und Ausblick

In dieser Arbeit wurde der Forschungsfrage nachgegangen, wie geeignete synthetische Kerosine in eine umweltfreundliche Luftfahrt der Zukunft integriert werden können. Für die Beantwortung dieser Forschungsfrage wurden vier verschiedene Herstellungsverfahren alternativer Kerosine (PtL, BtL, StL, HEFA) einer SWOT-Analyse mit darauffolgender strategischer Einordnung im Kontext aktueller Klimaschutzbemühungen und alternativer Antriebstechnologien unterzogen.

Die Ergebnisse der SWOT-Analyse ergeben eine Tauglichkeit des PtL- und StL-Verfahrens und des HEFA-Verfahrens über die Wertschöpfung via Algenölrouten. PtL-Kerosine zeichnen sich durch hohe CO₂-Minderungspotentiale aus, wenn die Wertschöpfung des Prozesses durch den Einsatz von EE-Strom erfolgt. Einer regenerativen Energiequelle bedient sich ebenso das StL-Verfahren, das darüber hinaus sozioökonomische Chancen sowohl für Entwicklungsländer als auch Industriestaaten bietet. HEFA-Kerosine via Algenölrouten bieten eine hohe Ertragsrate und Distanz zum Lebensmittelsektor, sodass kein Konfliktpotential besteht. Von diesem Nachteil sind insbesondere einige BtL-Routen betroffen. Eine weitere Erkenntnis aus der Analyse ist die ausbleibende Konkurrenz zwischen den hier ausgewählten Herstellungsverfahren, die eine simultane Weiterentwicklung geeigneter Routen erlaubt. Eine wichtige Voraussetzung für den gewinnbringenden Einsatz von Flugtreibstoffen ist die ASTM-Zertifizierung, die aktuell eine Beimischung alternativer Kerosine von bis zu 50% erlaubt. Eine Erhöhung dieser Grenze erscheint unter Umweltaspekten plausibel.

Die strategische Verortung ergibt zum einen, dass kein Konkurrenzverhältnis zwischen dem Einsatz synthetischer Kerosine und alternativer Antriebe und dem Emissionshandel besteht. Vielmehr kann von Synergien profitiert werden. Der Emissionshandel kann einen fördernden Effekt auf die Etablierung alternativer Kerosine bewirken, wenn der Einsatz eben jener zu einer Verminderung des Kompensationsbetrags führt. Die Betrachtung der strategischen Flugroutenplanung zeigt ein vielfältiges Gestaltungspotential für den Flugbetreiber. Sowohl das Point-to-Point- als auch das Hub-and-Spoke-Modell ermöglichen eine sinnvolle Integration synthetischer Kerosine. Zudem bieten sich Hybridlösungen mit dem Einsatz von Elektromotoren an, die bei günstigen Lastzuständen zugeschaltet werden und die übrigen TFT entlasten können. Abschließend wurden Lösungsvorschläge zur Erhöhung der Akzeptanz unter Flugbetreibern und Flugpassagieren gegeben. Eine Möglichkeit stellt die Umorientierung bestehender Meilensammelprogramme von Airlines dar, die aktuell einen Anreiz zur Erhöhung der Flugfrequenz geben. Meilenausgaben können so umverteilt werden, dass Passagiere, die sich für einen Flug mit synthetischen Treibstoffen entscheiden, davon profitieren. Eine weitere Möglichkeit stellt die freiwillige Abgabe für Flüge, die mit synthetischen Kerosinen betrieben werden, dar. Flugpassagiere können durch ein intelligentes Design des Buchungsprozesses eine im Mittel höhere Abgabe leisten, die der Kompensation der aktuellen Preisdifferenz zwischen

fossilem und alternativem Kerosin dient. Es wird festgestellt, dass eine politische Lenkung zur Förderung von synthetischen Kerosinen einen wichtigen Schritt darstellen kann.

Die Arbeit kann zukünftig um eine vielfältigere und detailliertere Analyse von Herstellungsverfahren verschiedener synthetischer Kerosine ergänzt werden. In der strategischen Verortung kann eine differenzierte Erörterung und Gegenüberstellung diverser politischer Lenkungsinstrumente forciert werden.

Die Ergebnisse dieser Arbeit können dazu verwendet werden, innovative marktbasierende Maßnahmen im Sinne des Umweltschutzes zu ergreifen.